



TUGAS AKHIR - MO 141326

STUDI PROBABILISTIK SUHU AIR LAUT DI STASIUN
PENGAMATAN SEKITAR PEMBUANGAN AIR PENDINGIN
PLTU (STUDI KASUS PLTU PAITON)

MUKTI UTAMI

NRP. 4312100127

Dosen Pembimbing :

Prof.Ir.Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

Agro Wisudawan, ST., MT.

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT - MO 141326

**PROBABILITY STUDY OF SEAWATER TEMPERATURE IN
OBSERVATION STATION AROUND WATER DISCHARGE CANAL
POWER PLANT (CASE STUDY OF PLTU PAITON)**

MUKTI UTAMI

NRP. 4312100127

SUPERVISORS :

Prof.Ir.Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

Agro Wisudawan, ST., MT.

Department Of Ocean Engineering

Faculty Of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PROBABILISTIK SUHU AIR LAUT DI STASIUN PENGAMATAN SEKITAR PEMBUANGAN AIR PENDINGIN PLTU (STUDI KASUS PLTU PAITON)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut teknologi sepuluh nopember

Oleh :

Mukti Utami

4312100127

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)
2. Agro Wisudawan, S.T., M.Eng. (Pembimbing 2)
3. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji 1)
4. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)
5. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2016

STUDI PROBABILISTIK SUHU AIR LAUT DI STASIUN PENGAMATAN SEKITAR PEMBUANGAN AIR PENDINGIN PLTU (STUDI KASUS PLTU PAITON)

Nama : Mukti Utami
NRP : 43 12 100 127
Jurusan : Teknik Kelautan - ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Ir.Mukhtasor, M.Eng, Ph.D
Agro Wisudawan, ST., MT.

ABSTRAK

Limbah air panas dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dialirkan kembali ke laut. Hal tersebut mengakibatkan suhu di perairan sekitar pembuangan menjadi tercemar. Jika tanpa proses pendinginan, maka suhu di perairan sekitar akan jauh lebih tinggi dari suhu lingkungannya. Ekosistem di area terdampak seperti ikan, terumbu karang dan populasi lainnya akan mengalami gangguan fungsi hidup. KEP-MENLH RI No.51/2004 menetapkan peraturan mengenai baku mutu limbah untuk ekosistem karang, yaitu suhu perairan $<2^{\circ}\text{C}$ dari suhu lingkungannya. Untuk mengetahui probabilitas persebaran suhu limbah, maka dilakukan pemodelan hidrodinamika dengan software MIKE 21. Arah arus hasil pemodelan di sekitar *water discharge* PLTU Paiton mengarah ke sebelah kanan/timur *water discharge*, yang mana mempengaruhi arah persebaran limbah air panas. Jarak ± 400 m sebelah kanan *water discharge* mendapat pengaruh limbah panas hingga suhu rata-ratanya $33,9^{\circ}\text{C}$ saat pasang tertinggi dan $34,47^{\circ}\text{C}$ pada saat surut terendah. Setelah dilakukan simulasi montecarlo, empat titik pengamatan suhu menunjukkan probabilitas persebaran suhu dengan jenis distribusi Beta.

Kata Kunci : PLTU, limbah air panas, *water discharge*, probabilitas, suhu

**PROBABILITY STUDY OF SEAWATER TEMPERATURE IN
OBSERVATION STATION AROUND WATER DISCHARGE CANAL
POWER PLANT (CASE STUDY OF PLTU PAITON)**

Name : Mukti Utami
NRP : 43 12 100 127
Department : Ocean Engineering - ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Ir.Mukhtasor, M.Eng, Ph.D
Agro Wisudawan, ST., MT.

ABSTRACT

Thermal pollution from Paiton power plant streamed back into the sea. This activity affects waters around the exhaust temperature for becoming polluted. Without cooling treatment, temperatures around discharge canal will be higher than the temperature of ambient. Ecosystems in affected areas such as fishes, coral reefs and other population will experience impaired function of life. KEP-MENLH No. 51/2004 sets rules on raw effluent quality, i.e the waters temperature for coral ecosystem $<2^{\circ}\text{C}$ from ambient waters temperature. Hydrodynamics modelling was conducted by MIKE 21 software to find out the probability of temperature distribution in the waste. Direction of flows is modelled around water discharge power plant Paiton leads to the right/east water discharge, which influence the direction of the distribution of wastewater. Distance ± 400 m of the right water discharge influenced by heat of waste until the mean temperature was $33,9^{\circ}\text{C}$ while the highest high tide and $34,47^{\circ}\text{C}$ at the time of the lowest low tide. After a simulated montecarlo was performed, four point temperature observation show the probability of distribution of temperature with the type of Beta distribution.

Keyword : Paiton power plant, thermal pollution, water discharge, probability, temperature

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton	6
2.2.2 Sistem Air Pendingin PLTU	7
2.2.3 Arus Laut	8
2.2.4 Pasang Surut	9
2.2.5 Debit Aliran	10
2.2.6 Gaya Coriolis	11
2.2.7 Pemodelan Hidrodinamika Perairan Dangkal	11
2.2.9 Keandalan	14
2.2.10 Teori Probabilitas.....	14

2.2.11 Distribusi Probabilitas	15
2.2.12 Simulasi Montecarlo	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Metode Penelitian.....	17
3.2 Prosedur Penelitian.....	18
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Tinjauan Daerah Studi.....	23
4.1.1 Geografis.....	23
4.1.2 Data Batimetri.....	24
4.1.3 Data Pasang Surut.....	25
4.1.4 Data Arus	28
4.1.5 Data Angin.....	30
4.1.6 Data Suhu Air Laut.....	32
4.2 Pemodelan MIKE 21	33
4.2.1 Pemodelan Pola Arus.....	33
4.2.2 Simulasi Pola Arus	34
4.2.3 Validasi Pasang Surut	35
4.2.4 Validasi Suhu.....	39
4.3 Analisa Statistik Pemodelan Limbah Air Panas	40
4.3.1 Menentukan Performance Function.....	41
4.3.2 Menentukan Distribusi Teoritis dari Kecepatan Arus	45
4.3.3 Simulasi Montecarlo	48
BAB 5 PENUTUP	59
5.1 KESIMPULAN	59
5.2 SARAN	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN I	A1
LAMPIRAN II	B1
LAMPIRAN III.....	C1
LAMPIRAN IV.....	D1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Lokasi PLTU Paiton	6
Gambar 3.1 Diagram Alir	18
Gambar 4.1 Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton	23
Gambar 4.2 Peta Batimetri Daerah Paiton, Probolinggo	24
Gambar 4.3 Input Batimetri untuk Pemodelan	25
Gambar 4.4 Lokasi Pengambilan Data Pasang Surut dari Global Tide Model...	26
Gambar 4.5 Data Pasang Surut	28
Gambar 4.6 Lokasi Pengukuran Kecepatan Arus	29
Gambar 4.7 Pengukuran Kecepatan Arus	30
Gambar 4.8 Data Angin Probolinggo Tahun 2013	31
Gambar 4.9 Empat Titik Lokasi Pengukuran Suhu	32
Gambar 4.10 Elemen Meshing dan Kedalaman LAut di Lokasi Penelitian	33
Gambar 4.11 Pemodelan Kecepatan Arus saat Pasang Tertinggi	34
Gambar 4.12 Pemodelan Kecepatan Arus saat Surut Terendah	35
Gambar 4.13 Perbandingan Data Pasang Surut GTM dan Pemodelan	36
Gambar 4.14 Perbandingan Data Pengukuran dan Pemodelan Kecepatan Arus	37
Gambar 4.15 Pemodelan Persebaran Suhu saat Pasang Tertinggi	38
Gambar 4.16 Pemodelan Persebaran Suhu saat Surut Terendah	39
Gambar 4.17 Empat Titik Baru Pemodelan Suhu	41
Gambar 4.18 Performance Function	44
Gambar 4.19 Histogram Data Pemodelan Kecepatan Arus	47
Gambar 4.20 Skema Simulasi Montecarlo dengan Pembangkitan Bilangan Acak Secara Manual	49
Gambar 4.21 Skema Simulasi Montecarlo dengan Pembangkitan Bilangan Acak Secara Otomatis	49
Gambar 4.22 Rata-rata Suhu Simulasi	53
Gambar 4.23 Distribusi Suhu pada Simulasi Montecarlo	56

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Pengukuran Kecepatan Arus	29
Tabel 4.2 Pengukuran Temperatur Laut di Empat Titik Berbeda.....	33
Tabel 4.3 Perbandingan Suhu Hasil Pengukuran dan Pemodelan	40
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai S-Sq antar Fungsi Regresi.....	42
Tabel 4.5 Performance Function untuk Keempat Titik.....	45
Tabel 4.6 Perbandingan Ranking Distribusi Model Kecepatan Arus	47
Tabel 4.7 Perhitungan Suhu dengan Sepuluh Sampel Bilangan Acak.....	50
Tabel 4.8 Jumlah Simulasi Montecarlo.....	50
Tabel 4.9 Parameter Distribusi Beta pada Empat Titik.....	54
Tabel 4.10 Statistik Deskriptif Distribusi Simulasi Suhu	56

DAFTAR LAMPIRAN

Output Pemodelan.....	A2
Data Kecepatan Arus	B2
Data Pasang Surut	B3
Performance Function	C2
Distribusi Arus	C10
Biodata Penulis	D2

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton merupakan pembangkit listrik untuk pemenuhan kebutuhan listrik daerah Jawa dan Bali. Lokasi PLTU Paiton berada di Paiton, Kabupaten Probolinggo. Pada umumnya lokasi PLTU berada di pinggir pantai dengan tujuan untuk mempermudah mendapatkan air laut sebagai fluida pendingin. Berdasarkan website resmi PT Jawa Power (2016), PLTU Paiton memiliki 9 unit pembangkit, unit 1&2 merupakan milik PT Pembangkitan Jawa Bali dengan kapasitas 2x400 MW, unit 5&6 merupakan milik PT Jawa Power dengan kapasitas 2x610 MW, unit 7&8 merupakan milik PT Paiton energi dengan kapasitas 2x610 MW, sedangkan unit 3&4 saat ini dirubah menjadi satu unit dengan kapasitas 800 MW oleh PT Paiton Energi.

Air laut mempunyai peranan yang signifikan terhadap proses produksi energi listrik. Mulai dari penggunaan air laut sebagai fluida yang diubah menjadi uap di dalam boiler hingga sebagai fluida pendingin di kondensor. Berhubung air laut mempunyai tingkat korosifitas yang tinggi, maka sebelum memasuki boiler air laut melalui proses sterilisasi hingga memenuhi kriteria air yang dibutuhkan. Setelah air yang berada di boiler berubah menjadi uap panas dengan tekanan tinggi, maka uap tersebut dapat menggerakkan turbin yang terintegrasi dengan generator untuk menghasilkan listrik. Kemudian bekas uap didinginkan kembali melalui pipa-pipa kondensor untuk dialirkan kembali ke boiler hingga siklus pembangkitan listrik tersebut berulang-ulang.

Proses pendinginan uap di kondensor menggunakan air laut. Kemudian air laut bekas pendinginan yang disebut sebagai air bahang ini dialirkan kembali ke laut. Namun suhu air bahang menjadi lebih tinggi dibanding suhu *ambient*, karena mengalami transfer kalor saat proses pendinginan. KEP-MENLH RI No.51/2004 menetapkan peraturan mengenai baku mutu limbah untuk ekosistem karang, yaitu suhu perairan $<2^{\circ}\text{C}$ dari suhu lingkungannya. Maka diperlukan sistem pembuangan limbah yang ramah lingkungan, sehingga biota di sekitar pembuangan limbah panas tidak terganggu kelangsungan hidupnya. Mengingat terumbu karang sangat sensitif

terhadap perubahan suhu, sedangkan terumbu karang merupakan habitat ikan karang (Cholis, 2015).

Pada penelitian sebelumnya dilakukan di lokasi yang sama oleh Pratiwi (2013), yaitu tentang pengaruh persebaran limbah panas PLTU Paiton terhadap ekosistem terumbu karang area terdampak dengan asumsi temperatur air bahang konstan. Pada kenyataannya kondisi arus di laut berubah-ubah setiap waktunya sehingga mempengaruhi persebaran suhu air bahang tersebut.

Maka dari itu penulis akan melanjutkan penelitian tentang probabilitas suhu air laut di stasiun pengamatan sekitar pembuangan air pendingin PLTU Paiton. Dengan diketahui probabilitas dari suhu di masing-masing stasiun akan menunjukkan perubahan suhu terhadap fungsi waktu. Besarnya peluang yang terjadi terhadap suhu tinggi atau rendah dapat berpengaruh terhadap biota di sekitar lokasi tersebut. Dengan analisa probabilistik, maka dapat diketahui suhu di sekitar pembuangan sebagai representasi kondisi alam yang lebih realistik.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian ini, dapat ditarik perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola arus di perairan sekitar pembuangan air bahang PLTU Paiton?
2. Bagaimana pola penyebaran suhu limbah panas di perairan sekitar pembuangan air bahang PLTU Paiton?
3. Bagaimana karakteristik probabilitas dari distribusi di setiap lokasi pengamatan?

1.3 TUJUAN

1. Mengetahui pemodelan pola penyebaran arus di perairan sekitar pembuangan air bahang PLTU Paiton?
2. Mengetahui pola penyebaran suhu limbah panas di perairan sekitar pembuangan air bahang PLTU Paiton?
3. Mendapatkan karakteristik probabilitas dari distribusi di setiap lokasi pengamatan

1.4 MANFAAT

Hasil penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya, terutama mengenai peraturan baku mutu limbah industri pembangkit energi berdasarkan nilai probabilitas suhu yang ada.

1.5 BATASAN MASALAH

1. Data kecepatan arus, pasang surut, angin dan temperatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder
2. Pada pemodelan hidrodinamika, tipe material di setiap area pada daerah lokasi studi dianggap sama sepanjang waktu
3. Pemodelan buangan air bahang menggunakan tipe kondisi batas flowrate dengan debit $200 \text{ m}^3/\text{s}$
4. Suhu ambient air laut diasumsikan 30°C
5. Pengaruh nilai gelombang yang kecil diabaikan
6. Pemodelan dilakukan pada kondisi angin musim barat
7. Pengaruh suhu pada pemodelan hanya dipengaruhi oleh magnitude kecepatan arus
8. Data lingkungan dianggap tetap

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Saat ini energi menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi manusia. Berbagai alat penunjang kegiatan manusia menggunakan energi untuk pengaplikasiannya. Salah satu metode pembangkitan energi listrik menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU Paiton merupakan pemasok energi listrik terbesar untuk wilayah Jawa-Bali.

Menurut Malikusworo et.al (dalam Anam, 2014), bahwa pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan air sebagai cairan kerja untuk diubah menjadi tenaga uap. Tenaga uap tersebut yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga listrik.

Sistem di dalam PLTU menggunakan air pendingin sebagai cairan pendingin di mesin kondensor. Pertukaran kalor mengakibatkan air limbah mengalami peningkatan suhu. Air yang menyebar ke laut akan mengubah suhu ambient dan mempengaruhi kehidupan ekosistem laut, karena kadar oksigen terlarut dalam air akan turun bersamaan dengan kenaikan suhu yang terjadi (Esmayati et.al, 2013). Maka dibutuhkan sistem pembuangan limbah panas yang ramah lingkungan untuk menjaga kelangsungan kehidupan ekosistem pesisir.

Hasil analisa data lapangan yang dilakukan oleh Mukhtasor, et.al. (2015) menunjukkan diantara enam faktor seperti suhu rata-rata, salinitas, kecerahan air, TSS, pH, dan DO yang paling dominan mempengaruhi kondisi ekosistem perairan di sekitar pembuangan air pendingin PLTU Paiton adalah suhu rata-rata.

Upaya pemerintah dalam mengurangi dampak pencemaran limbah air panas dengan adanya KEP-MENLH RI No.51/2004 tentang baku mutu limbah untuk ekosistem karang, yaitu suhu perairan $<2^{\circ}\text{C}$ dari suhu lingkungannya.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton merupakan pembangkit listrik untuk pemenuhan kebutuhan listrik daerah Jawa dan Bali. Lokasi PLTU Paiton berada di Paiton, Kabupaten Probolinggo. Pada umumnya lokasi PLTU berada di pinggir pantai dengan tujuan untuk mempermudah mendapatkan air laut sebagai fluida pendingin. Berdasarkan website resmi PT Jawa Power (2016), PLTU Paiton memiliki 9 unit pembangkit, unit 1&2 merupakan milik PT Pembangkitan Jawa Bali dengan kapasitas 2x400 MW, unit 5&6 merupakan milik PT Jawa Power dengan kapasitas 2x610 MW, unit 7&8 merupakan milik PT Paiton energi dengan kapasitas 2x610 MW, sedangkan unit 3&4 saat ini dirubah menjadi satu unit dengan kapasitas 800 MW oleh PT Paiton Energi.



Gambar 2.1 Peta Lokasi PLTU Paiton
(www.googleearth.com, diakses tanggal 5 Juli 2016)

Peralatan utama PLTU Paiton adalah boiler, turbin dan generator. Peralatan lainnya adalah heater, polisher, condenser, furnace dll. Dalam proses produksi energi listrik, PLTU membutuhkan air laut sebagai fluida yang diubah menjadi uap di dalam boiler. Berhubung air laut mempunyai tingkat korosifitas yang tinggi, maka sebelum memasuki boiler air laut melalui proses desalinitasi hingga memenuhi kriteria air yang dibutuhkan. Setelah air yang berada di boiler berubah menjadi uap kering dengan tekanan dan temperatur tinggi, maka uap tersebut dapat menggerakkan turbin yang terintegrasi dengan generator untuk

menghasilkan listrik. Kemudian bekas uap (*exhaust steam*) didinginkan kembali melalui pipa-pipa kondensor untuk dialirkan kembali ke boiler hingga siklus pembangkitan listrik tersebut berulang-ulang.

2.2.2 Sistem Air Pendingin PLTU

Sistem unit PLTU memerlukan sistem pendingin utama yang berfungsi menyediakan dan memasok air pendingin yang diperlukan untuk mengondensasikan uap bekas dan mengeluarkan uap di dalam kondensor. Selain itu juga berfungsi memasok air untuk mendinginkan “Heat Exchanger” pada sistem air pendingin bantu (*auxiliary cooling water*) yang merupakan siklus pendingin tertutup (Aribowo, 2013).

Air pendingin utama merupakan media pendingin untuk menyerap panas laten uap bekas dari turbin yang mengalir kedalam kondensor. Untuk mengkondensasikannya uap menjadi air diperlukan air pendingin. Air yang digunakan sebagai media pendingin utama yang akan dibahas disini ialah air laut. Tanpa pasokan air pendingin turbin tidak dapat dioperasikan. Sedangkan aliran air pendingin utama yang kurang dapat menyebabkan vakum kondensor menjadi rendah dan dapat mengakibatkan unit trip.

Berdasarkan siklusnya, terdapat dua macam sistem air pendingin utama, yaitu sistem siklus terbuka dan sistem siklus tertutup. Sistem siklus terbuka menggunakan air pendingin yang dipasok secara kontinyu dari sumber tak terbatas seperti sungai, danau atau laut yang dipompakan ke kondensor yang akhirnya dibuang kembali keasalnya. Letak saluran masuk dan saluran pembuangan air pendingin harus dibuat terpisah sejauh mungkin. Pemisahan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya resirkulasi air dari sisi pembuangan mengalir ke sisi masuk. Sedangkan sistem siklus tertutup menggunakan sumber air pendingin yang sama dengan sistem siklus terbuka. Pada proses penyerapan panas di kondensor, temperatur air pendingin keluar kondensor akan naik. Karena air akan disirkulasikan kembali ke kondensor, maka air pendingin ini harus didinginkan terlebih dahulu di menara pendingin (*cooling tower*). Di dalam menara pendingin,

air pendingin didinginkan oleh udara sehingga temperaturnya kembali turun dan siap disirkulasikan kembali kedalam kondensor.

Pada umumnya penggunaan air pendingin diperlukan 45 – 55 liter per detik pada beban penuh untuk setiap megawatt. Sebagai contoh, PLTU Muara Karang dengan kapasitas 700 MW memerlukan air pendingin sebanyak 31,5 – 38,5 m³/detik atau sekitar 113,4 juta liter/jam - 138,6 juta liter/jam (Hutomo dan Arinardi, 1992 dalam Hasriyani, 2014). Semakin tinggi kapasitas daya pembangkit listrik tenaga uap berbanding lurus dengan debit air pendingin yang dibutuhkan dan debit limbah yang dibuang melalui outlet.

2.2.3 Arus Laut

Arus laut atau *sea current* adalah gerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain baik secara horizontal maupun secara vertikal sehingga menuju keseimbangannya yang terjadi secara terus menerus, atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia. Gerakan yang terjadi merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada kolom, permukaan, dan dasar perairan. Hasil dari gerakan massa air adalah vektor yang mempunyai besaran arah dan kecepatan. Ada dua jenis faktor yang bekerja yaitu eksternal dan internal. Faktor internal seperti perbedaan densitas air laut, gradien tekanan mendatar dan gesekan lapisan air. Sedangkan faktor eksternal seperti gaya tarik matahari dan bulan yang dipengaruhi oleh tahanan dasar laut dan gaya coriolis, perbedaan tekanan udara, gaya gravitasi, gaya tektonik dan angin (Gross,1990).

Angin yang bertiup diatas permukaan laut merupakan salah satu faktor pembangkit arus laut. Tenaga angin memberikan pengaruh terhadap arus permukaan atas sekitar 2% dari kecepatan angin itu sendiri. Semakin bertambahnya kedalaman perairan, pengaruh kecepatan angin akan berkurang sampai akhirnya tidak berpengaruh pada kedalaman 200 meter (Bernawis,2000).

Selain angin, arus dipengaruhi oleh paling tidak tiga faktor, yaitu:

1. Bentuk topografi dasar lautan dan pulau – pulau yang ada di sekitarnya. Beberapa sistem lautan utama di dunia dibatasi oleh massa daratan dari tiga sisi dan pula oleh arus equatorial counter di sisi yang keempat. Batas – batas ini menghasilkan sistem aliran yang hampir tertutup dan cenderung membuat aliran mengarah dalam suatu bentuk bulatan.
2. Gaya coriolis dan arus ekman. Gaya Coriolis mempengaruhi aliran massa air, di mana gaya ini akan membelokkan arah mereka dari arah yang lurus. Gaya coriolis juga yang menyebabkan timbulnya perubahan – perubahan arah arus yang kompleks susunannya yang terjadi sesuai dengan semakin dalamnya kedalaman suatu perairan. Pembelokan itu akan mengarah ke kanan di belahan bumi utara dan mengarah ke kiri di belahan bumi selatan. Gaya ini yang mengakibatkan adanya aliran gyre yang searah jarum jam (ke kanan) pada belahan bumi utara dan berlawanan dengan arah jarum jam di belahan bumi selatan. Perubahan arah arus dari pengaruh angin ke pengaruh gaya coriolis dikenal dengan spiral ekman (Pond dan Pickard, 1983).
3. Perbedaan densitas serta upwelling dan sinking. Perbedaan densitas menyebabkan timbulnya aliran massa air dari laut yang dalam di daerah kutub selatan dan kutub utara ke arah daerah tropik.

2.2.4 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, namun pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari, karena jarak bulan terhadap bumi jauh lebih dekat. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari (Triatmodjo, 2012).

Tipe pasang surut di setiap daerah tidak sama. Hal ini dikarenakan kedudukan bulan dan matahari selalu berubah terhadap bumi yang mana menjadi salah satu faktor terjadinya pasang surut. Selain itu dasar laut di setiap daerah tidak sama rata, karena adanya palung yang dalam, perairan dangkal, selat, teluk, gunung

bawah laut, dan sebagainya. Secara umum pasang surut diberbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, sebagai berikut:

a. Pasang surut tunggal (diurnal tide)

Pasang surut ini terjadi satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

b. Pasang surut harian ganda (semidiurnal tide)

Pasang surut ini terjadi dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut ini terdapat di Selat Malaka sampai Laut Andaman.

c. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (mixed tide prevailing diurnal)

Pasang surut yang dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

d. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (mixed tide prevailing semidiurnal)

Pada tipe pasang surut ini dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

2.2.5 Debit Aliran

Debit atau laju aliran adalah volume air yang melewati suatu bagian saluran per satuan waktu. Suatu bagian yang dimaksud dapat berupa pipa, saluran pembuangan, sungai dan sebagainya. Rumus dalam menghitung debit adalah :

$$Q = v \times A \quad (2.1)$$

Dimana :

Q = debit atau laju air (m^3/s)

A = luas bagian penampang basah (m^2)

v = kecepatan aliran (m/s)

2.2.6 Gaya Coriolis

Gaya Coriolis adalah gaya yang membelokkan arah angin dari arah yang lurus, sehingga mempengaruhi aliran massa air. Gaya ini timbul sebagai akibat dari perputaran bumi pada porosnya. Gaya Coriolis ini yang membelokkan arus dibagian bumi utara kekanan dan dibagian bumi selatan kearah kiri.

Pada saat kecepatan arus berkurang, maka tingkat perubahan arus yang disebabkan gaya Coriolis akan meningkat. Hasilnya akan dihasilkan sedikit pembelokan dari arah arus yang relatif cepat dilapisan permukaan dan arah pembelokanya menjadi lebih besar pada aliran arus yang kecepatannya makin lambat dan mempunyai kedalaman makin bertambah besar. Akibatnya akan timbul suatu aliran arus dimana makin dalam suatu perairan maka arus yang terjadi pada lapisan-lapisan perairan akan dibelokkan arahnya. Hubungan ini dikenal sebagai Spiral Ekman, arah arus menyimpang 45° dari arah angin dan sudut penyimpangan bertambah dengan bertambahnya kedalaman.

2.2.7 Pemodelan Hidrodinamika Perairan dangkal

Pemodelan hidrodinamika untuk perairan cukup dangkal dibandingkan lebar perairannya, dapat digunakan persamaan hidrodinamika dua dimensi. Sedangkan untuk aliran muara dan perairan pantai dengan bathimetri yang kompleks diperlukan pemodelan tiga dimensi.

Pada perairan dangkal hanya dibutuhkan distribusi horizontal dari kecepatan rata-rata terhadap kedalaman yang diperlukan. Pemodelan dilakukan menggunakan persamaan yang diintegrasikan terhadap kedalaman. Model numerik yang digunakan dalam memecahkan masalah adalah metode elemen hingga.

2.2.8 Pemodelan Hidrodinamika MIKE 21

Pemodelan hidrodinamika menggunakan software MIKE 21 yang mengacu pada *Hydrodynamic Module (HD Module)*. *HD Module* digunakan untuk menghitung kecepatan arah arus dan menyimulasikan fenomena lingkungan dan hidrodinamika di danau, muara, teluk, area pantai dan laut (DHI, 2007).

Tujuan utama MIKE 21 HD adalah untuk menyelesaikan persamaan differensial parsial yang dipengaruhi arus horizontal. Seperti persamaan differensial lainnya, MIKE 21 memerlukan kondisi batas. Kondisi batas pada MIKE 21 HD ini ada dua yaitu *open boundary* dan *closed boundary*. Pemilihan *open boundary* merupakan kunci kesuksesan dalam pengaplikasian MIKE 21 HD. *Boundary* yang diperlukan adalah batimetri, data pasang surut, arah dan kecepatan angin, bed resistance dan ketinggian permukaan pada *open boundary*. Pada *open boundary* dapat ditetapkan sebagai bentuk ketinggian permukaan bumi untuk persamaan hidrodinamika. Sedangkan pada *closed boundary* normal flux diasumsikan nol untuk semua variable.

Persamaan utama yang digunakan adalah persamaan konservasi massa dan persamaan momentum dengan perata-rataan kedalaman. Model ini menggunakan pendekatan metode beda hingga (*finite difference method*) untuk menyelesaikan persamaan yang digunakan. Berikut uraian persamaan yang digunakan dalam model (DHI, 2007) :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ & + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) \right] - \Omega_q \\ & - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ & + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p \\ & - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dimana :

$h(x,y,t)$	= kedalaman air ($=\zeta -d, m$)
$d(x,y,t)$	= perubahan waktu terhadap kedalaman (m)
$\zeta(x,y,t)$	= elevasi permukaan (m)
$p,q(x,y,t)$	= flux densitas pada arah -x dan -y ($m^3/s /m$)
$C(x,y)$	= Chezy resisten ($m^{1/2}/s$)
g	= gravitasi (m/s^2)
$f(V)$	= factor gesekan angin
$V, V_x, V_y(x,y,t)$	= kecepatan dan arah angina terhadap komponen -x dan -y
$\Omega(x,y)$	= parameter coriolis, latitude (s^{-1})
$p_a(x,y,t)$	= tekanan atmosfer ($kg/ m/s^2$)
ρ_w	= densitas air (kg/m^3)
x, y	= koordinat (m)
t	= waktu (s)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	= komponen shear stress

Selanjutnya untuk pemodelan penyebaran limbah air panas menggunakan persamaan transport-diffusion sebagai berikut (DHI, 2007):

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \quad (2.5)$$

Dimana :

t	= waktu
x,y,z	= koordinat kartesian
u,v,w	= komponen kecepatan
T	= suhu
D_v	= koefisien difusi arah vertikal
\hat{H}	= suhu akibat panas dari atmosfer
T_s	= suhu sumber
F_T	= difusi arah horizontal
D_h	= koefisien difusi arah horizontal

2.2.9 Keandalan

Keandalan / *Reliability* merupakan nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu. Faktor yang sangat mempengaruhi keandalan adalah ketidakpastian. Secara garis besar, ketidakpastian dapat dikelompokkan menjadi tiga (Rosyid, 2007):

- a. Variabilitas fisik, yaitu fenomena alami yang sifatnya acak atau bervariasi
- b. Ketidakpastian statistik dalam perkiraan nilai suatu parameter atau pemilihan distribusi
- c. Ketidakpastian dalam pemodelan yang didasarkan pada idealisasi atau pengambilan asumsi

Dalam sebuah system rekayasa, model merupakan penyederhanaan dari persoalan yang sebenarnya. Pemodelan biasanya dibuat dengan berbagai asumsi. Semakin banyak asumsi yang diberikan, maka jarak antara realitas dan model (Distance to Reality-DTR) semakin besar. Ketidakpastian-ketidakpastian tersebut menyebabkan adanya peluang kegagalan disamping itu juga terdapat peluang keberhasilan sebuah sistem rekayasa.

2.2.10 Teori Probabilitas

Probabilitas adalah sesuatu yang berkaitan dengan sebuah peristiwa yang mempunyai sebuah bilangan terletak diantara angka 0 dan 1. Jika probabilitas bernilai 1 maka peristiwa itu pasti terjadi, jika angka 0 maka peristiwa itu pasti tidak terjadi. Definisi probabilitas dibagi dalam tiga pengertian, yaitu probabilitas klasik, probabilitas subjektif dan probabilitas frekuensi relatif. Probabilitas frekuensi relatif merupakan teori yang sering digunakan dalam banyak masalah yang belum tentu definisi klasik dapat dipakai.

Contoh penerapan distribusi frekuensi relatif, seandainya dilakukan eksperimen sebanyak N kali terjadi kejadian X sebanyak f_x kali, maka jika eksperimen tersebut dilakukan tak terhingga kali banyaknya (N mendekati tak hingga), nilai limit dari frekuensi relatif f_x/N didefinisikan sebagai probabilitas kejadian X atau $P(X)$ (Harinaldi, 2005).

$$P(X) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{f_x}{N} \right) \quad (2.6)$$

2.2.11 Distribusi Probabilitas

Distribusi probabilitas adalah suatu distribusi yang menggambarkan peluang dan sekumpulan variat sebagai pengganti frekuensinya. Berdasarkan jenis variabelnya tergolong atas distribusi probabilitas diskrit dan distribusi probabilitas kontinyu. Distribusi probabilitas diskrit adalah suatu ruang contoh yang mengandung jumlah titik contoh yang terhingga sedangkan distribusi probabilitas kontinyu adalah suatu ruang contoh yang mengandung tidak terhingga (Harinaldi, 2005).

Dalam studi kasus tentang perairan laut, data-data statistik sering masuk dalam kategori variabel tak terbatas. Macam-macam dari jenis distribusi kontinyu adalah distribusi normal, distribusi gamma, distribusi chi-kuadrat, distribusi eksponensial, distribusi weibull, distribusi lognormal, distribusi beta dll.

2.2.12 Simulasi Montecarlo

Simulasi Monte Carlo adalah metode yang digunakan dalam pemodelan dan analisa sistem yang mengandung resiko dan ketidak-pastian (Rosyid, 2007). Pada bidang simulasi hidrodinamika laut yang setiap kejadiannya tidak dapat diprediksi secara pasti atau setiap unsurnya mengandung ketidakpastian, simulasi Monte Carlo dapat mengkuantifikasi peluang dari ketidak-pastian yang terjadi.

Unsur pokok dalam metode Montecarlo adalah *random number generator* (RNG). Prinsip dasar metode montecarlo adalah menyimulasikan sampling numerik dengan bantuan RNG, dimana simulasi dengan cara mengambil beberapa

sample dari perubah acak berdasarkan distribusi peluang perubah acak tersebut. Ini artinya distribusi dari perubah acak sudah diketahui atau dapat diasumsikan. Kemudian sample dari perubah acak tersebut dimasukkan dalam fungsi kerja atau *performance function (PF)* (Rosyid, 2007).

Dengan berkembangnya teknologi komputer, dalam menentukan RNG dapat dilakukan dengan bantuan Ms.Excel dengan fungsi RAND. Namun angka acak yang dikeluarkan oleh RNG harus diubah menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (*f_{kp}*)-nya. Cara yang dapat dilakukan untuk mentransformasikan bilangan acak menjadi nilai perubah acak dapat dilakukan secara numerik dengan prosedur intuitif sebagai berikut :

Jika X_p adalah fungsi kerapatan peluang yang diketahui dalam *f_{kp}*, dibagi dengan rentang X_p menjadi i interval yang sama sepanjang dx . Dihitung luas tiap pias (menghasilkan peluang X_p memiliki harga dalam interval i , yaitu sebesar P_i). Interval dx dikalikan dengan tinggi *f_{kp}* pada X_i . Untuk setiap a_p (angka acak keluaran dari RNG), maka a_p dibandingkan dengan batas interval yang sesuai. Apabila $P_i < a_p P_{i+1}$, maka a_p ditransformasikan sebagai X_i .

Secara ringkas prinsip dari metode simulasi montecarlo adalah :

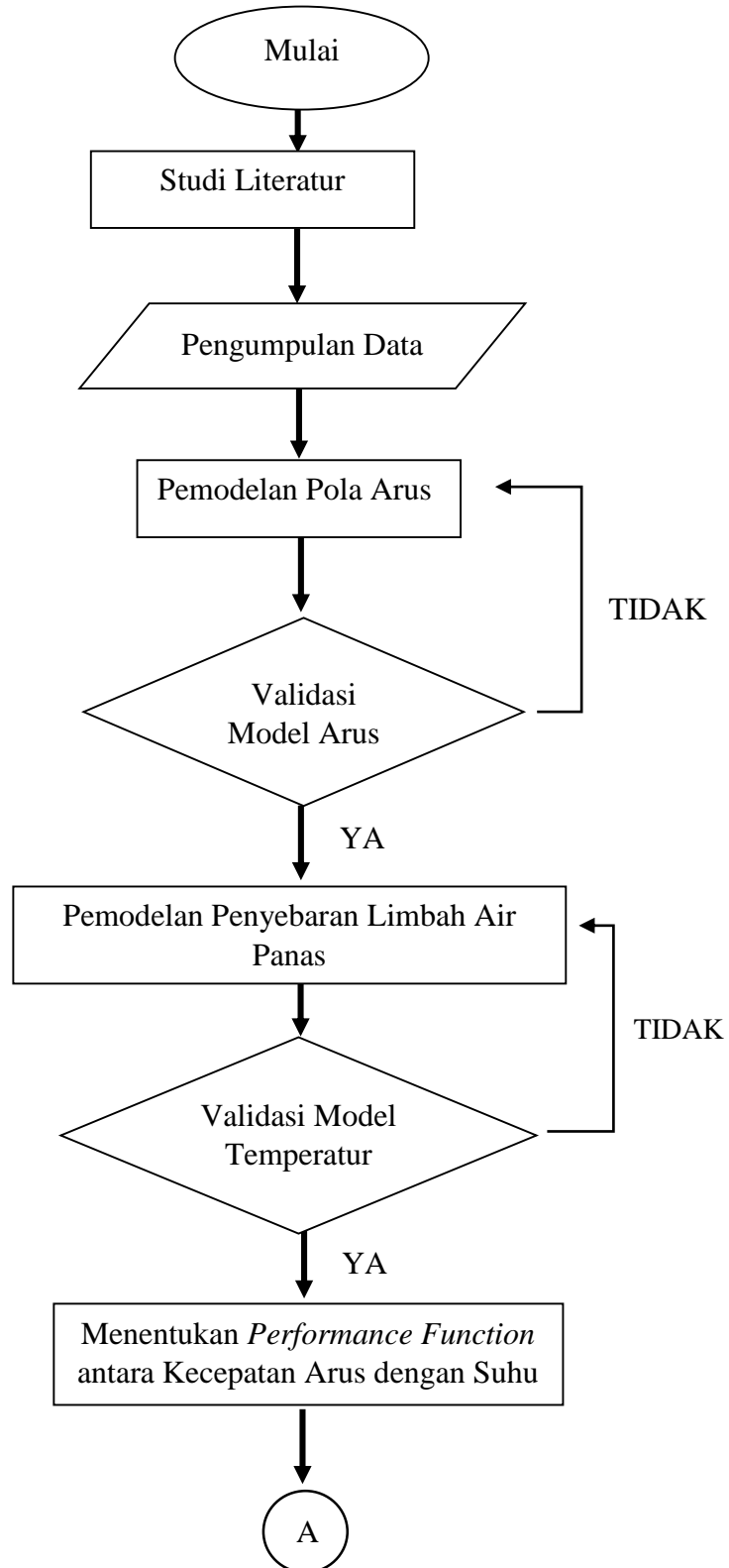
1. Menentukan fungsi kinerja atau *performance function (PF)*
2. Menentukan angka acak dari Random Number Generator (RNG)
3. Menstransformasi RNG yang merupakan bilangan acak, menjadi nilai peubah acak yang merupakan salah satu komponen dari fungsi kinerja yang telah ditetapkan
4. Menentukan dan mendefinisikan fungsi kinerja, misalnya jika $FK(X) > 5$ maka sistem gagal
5. Ulangi prosedur 1-4 sebanyak yang diinginkan, sampai mendapatkan hasil simulasi yang stabil.
6. Catat berapa kali struktur mengalami kegagalan dan berapa kali percobaan dilakukan

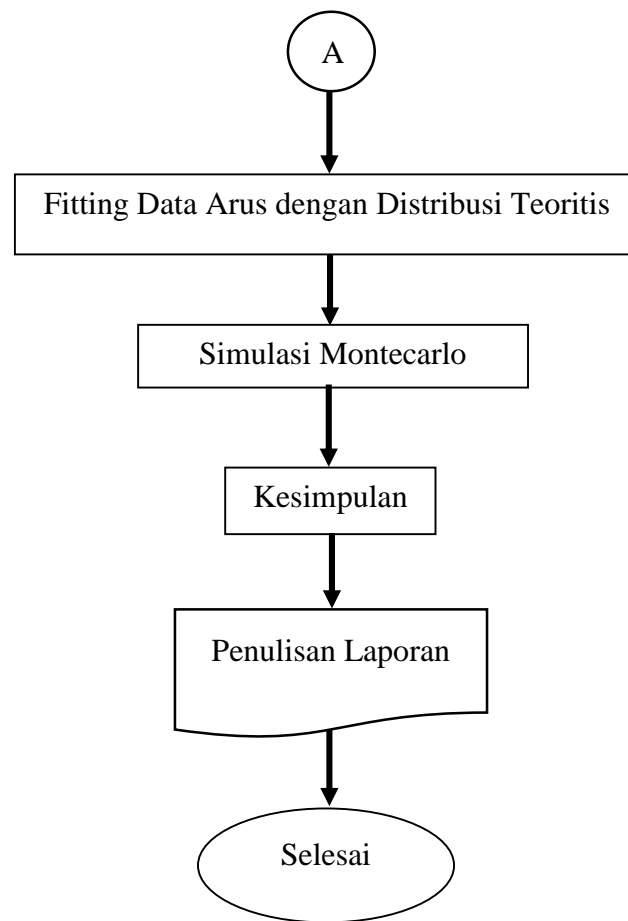
Bandungkan rasio jumlah gagal (n) dengan jumlah percobaan (N), maka itu yang disebut dengan peluang kegagalan dalam system, $P_g = n/N$.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN





Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 PROSEDUR PENELITIAN

Pengerjaan laporan tugas akhir ini dilakukan dengan tahap-tahap seperti disajikan pada Gambar 3.1. Adapun uraian dari pengerjaan seperti di bawah ini :

1. Studi Literatur

Studi literature digunakan untuk mengetahui lebih awal mengenai pokok permasalahan yang akan dibahas serta teori-teori yang digunakan untuk menganalisis permasalahan. Dalam studi literatur ini dilakukan dengan mempelajari beberapa literature berupa buku, jurnal, laporan penelitian, serta sumber informasi ilmiah terkait permasalahan yang relevan dengan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam pengerjaan laporan ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari hasil pengukuran dan penelitian pihak lain. Adapun data-data lingkungan yang digunakan dalam analisis pemodelan dengan menggunakan software Mike 21, antara lain :

1. Data batimetri (Bakosurtanal, 1993)
2. Data pasang surut (Global Tide Model, diakses pada tanggal 30 Juni 2016)
3. Data angin (BMKG, 2016)
4. Data pengukuran arus (Saptarini, 2014)
5. Data suhu limbah air bahang PLTU Paiton (Laporan Andal Paiton, 2013)
6. Data pengukuran suhu (Saptarini, 2014)

3. Pemodelan Pola Arus

Pemodelan pola arus dilakukan dengan menyesuaikan input data yang diperoleh, dengan mengasumsikan gaya atau pengaruh yang diberikan kecil tanpa mempertimbangkan gelombang dari laut. Modul yang digunakan adalah *Hydrodynamic Module* dengan menggunakan software MIKE 21.

4. Validasi Model Arus

Setelah dilakukan pemodelan pola arus, selanjutnya dilakukan proses validasi. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan antara kondisi pola arus sebenarnya dengan hasil pemodelan. Data yang digunakan sebagai validasi adalah data pengukuran arus oleh Saptarini (2014) selama 24 jam mulai tanggal 6 Oktober 2013 pukul 17.00.

5. Pemodelan Penyebaran Limbah Panas

Pada langkah ini adalah kelanjutan dari simulasi pola arus. Untuk mendapatkan pemodelan sebaran limbah panas dibutuhkan parameter tambahan seperti flowrate/debit dan temperatur. Data flowrate dan suhu didapatkan dari Laporan Andal Paiton (2013) dengan nilai flowrate 200 m³/s dan suhu limbah

bahang 38°C. Berhubung adanya keterbatasan data yang diperoleh, maka input data tersebut dibuat konstan sepanjang waktu dalam pemodelan ini. Dari simulasi ini akan didapatkan nilai model suhu di masing-masing titik pengamatan suhu. Modul yang digunakan adalah *Hydrodynamic Module* pada software MIKE 21 dengan tambahan persamaan *Temperature/Salinity*.

6. Validasi Model Temperatur

Seperti halnya yang dilakukan pada validasi pola arus, pada pemodelan suhu ini juga dilakukan validasi untuk mengetahui seberapa besar nilai eror antara kondisi lapangan dengan pemodelan. Data suhu yang digunakan validasi berasal dari pengukuran suhu oleh Saptarini (2014).

7. Menyesuaikan Data Kecepatan Arus dengan Distribusi Teoritis

Langkah selanjutnya adalah penyesuaian data pemodelan kecepatan arus dengan distribusi teoritis. Pada langkah ini digunakan software Easyfit untuk mempermudah dalam proses pengerjaan. Software Easyfit dapat menampilkan beberapa jenis distribusi beserta ranking ketepatannya. Pemilihan jenis distribusi didasarkan pada rentang ranking 1-5. Selanjutnya diambil satu jenis distribusi yang memenuhi pada semua titik kecepatan arus.

8. Menentukan *Performance Function* antara Kecepatan Arus dengan Suhu

Setelah dipilih jenis distribusi yang sesuai, maka dilakukan regresi untuk menentukan rumus hubungan antara kecepatan arus dan suhu di titik pengamatan. Rumus ini yang nantinya digunakan sebagai *Performance Function* dalam simulasi Montecarlo.

9. Simulasi Montecarlo

Simulasi montecarlo menggunakan parameter bilangan acak. Setelah dihasilkan bilangan acak yang mempunyai range 0-1, kemudian ditransformasikan ke dalam parameter distribusi pemodelan kecepatan arus. Setelah itu nilai kecepatan arus dimasukkan dalam *performance function* yang sudah ditetapkan. Kemudian keluarlah nilai suhu. Simulasi montecarlo dilakukan dengan bantuan Ms.Excel. Simulasi diulang terus-menerus sampai dihasilkan nilai suhu yang stabil pada n kali simulasi. Pada umumnya untuk simulasi Montecarlo menggunakan probabilitas kegagalan/keandalan saat menentukan jumlah simulasi, namun dalam tugas akhir ini menggunakan nilai rata-rata suhu untuk mendapatkan nilai kestabilan jumlah simulasi. Kemudian nilai suhu selama n kali simulasi disesuaikan dengan jenis distribusi teoritis.

10. Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan dari seluruh tahapan di atas sesuai dengan tujuan awal yang ditetapkan pada penelitian serta saran mengenai pengembangan penelitian lanjutan.

11. Penulisan Laporan

Penulisan laporan bertujuan untuk kepentingan publikasi atau menginformasikan hasil penelitian. Sehingga hasil penelitian dapat bermanfaat atau sebagai referensi pada penelitian lain.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

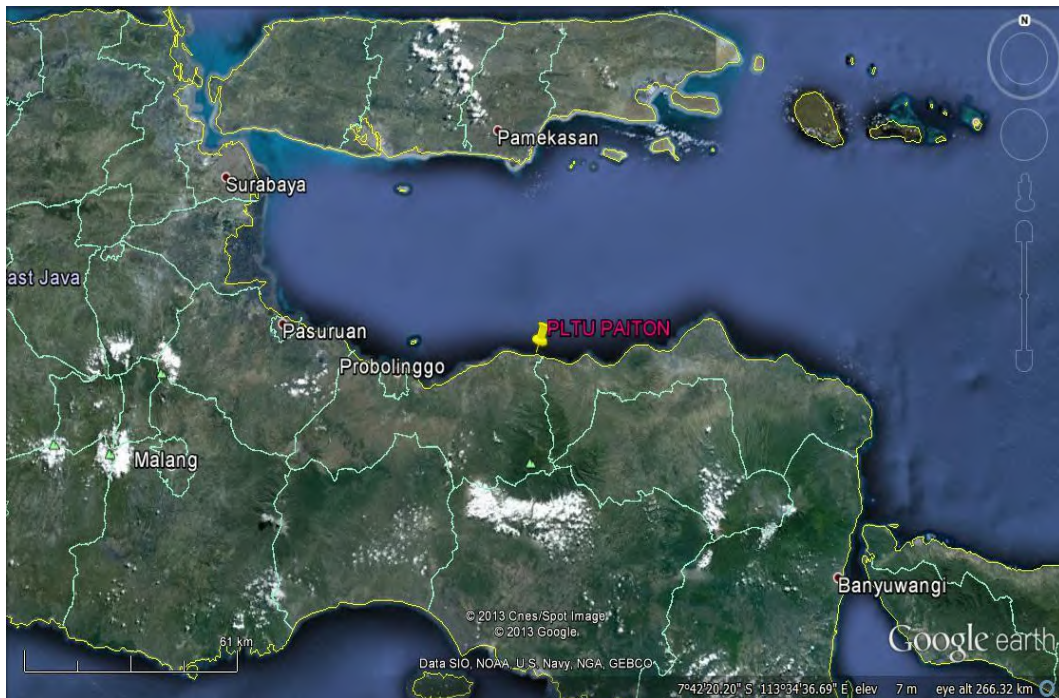
BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 TINJAUAN DAERAH STUDI

4.1.1 Geografis

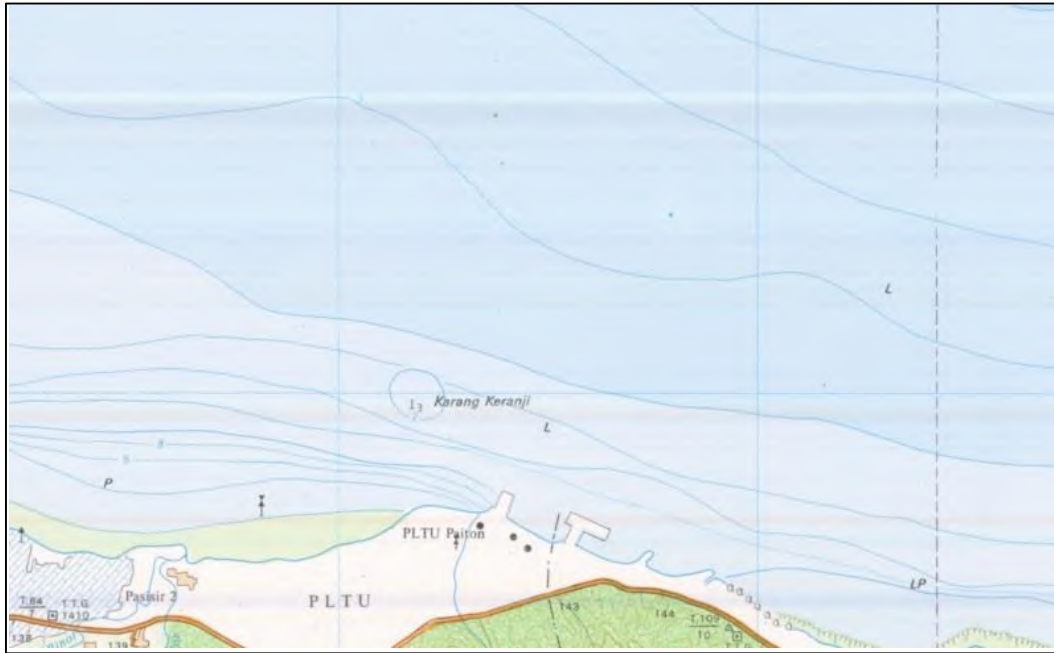
Paiton merupakan sebuah kecamatan di kabupaten Probolinggo, Jawa Timur, berada di koordinat $7^{\circ}43'30''\text{S}$ $113^{\circ}32'32''\text{E}$. Paiton terletak di tepi pantai utara provinsi Jawa Timur. Wilayahnya berbatasan dengan Selat Madura di utara, Kecamatan Kraksaan di sebelah barat, serta Kabupaten Situbondo di sisi Timur. Daerah ini terkenal dengan kompleks pembangkit listrik tenaga uap paiton yang terletak di Desa Bhinor.



Gambar 4.1 Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton
Desa Bhinor, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur
(www.googleearth.com, diakses tanggal 17 Juli 2016)

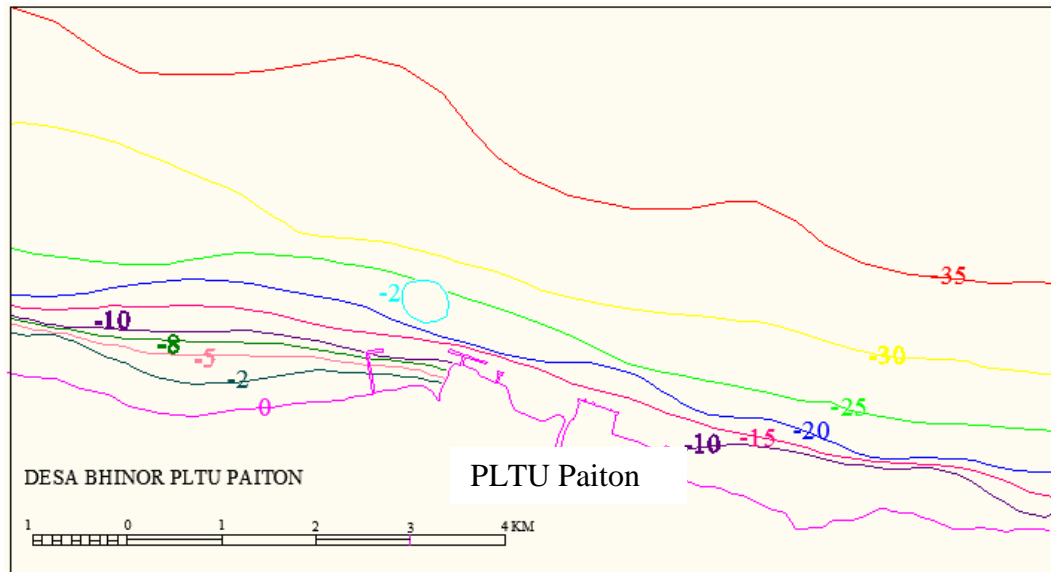
4.1.2 Data Bathimetri

Peta bathimetri yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini berasal dari data sekunder yang merupakan pemetaan dan hasil studi dari BAKOSURTANAL, 1993 yang menunjukkan bahwa dasar laut di sekitar Paiton relatif curam. Pada radius ± 2 km dari garis pantai kedalaman sudah menunjukkan angka 30 m.



Gambar 4.2 Peta Bathimetri Daerah Paiton, Probolinggo
(BAKOSURTANAL, 1993)

Dalam pemodelan pola arus lokasi studi, bathimetri digunakan sebagai data *input* untuk menunjukkan kedalaman pada lokasi pemodelan. Pola bathimetri ini akan dikonversi dari *file.jpg* menjadi *file.dwg* dengan *software Autocad 2010*. Titik koordinat pemodelan dalam *file.dwg* dicek keakuratannya dengan koordinat sebenarnya pada *software Google Earth*. Berikut Gambar 4.3 yang merupakan hasil konversi yang digunakan sebagai *input* awal pemodelan.

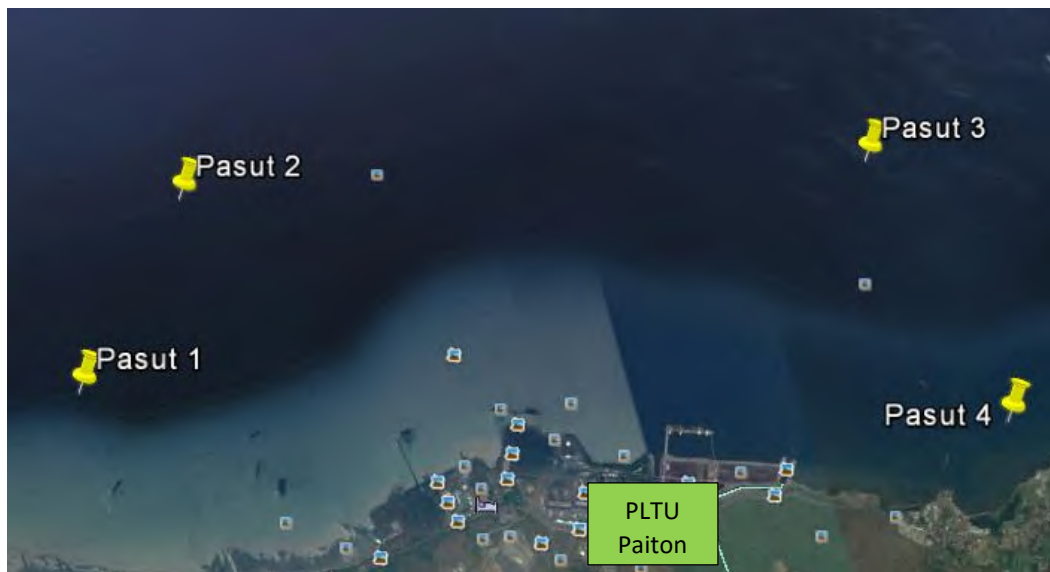


Gambar 4.3 Input Bathimetri untuk Pemodelan

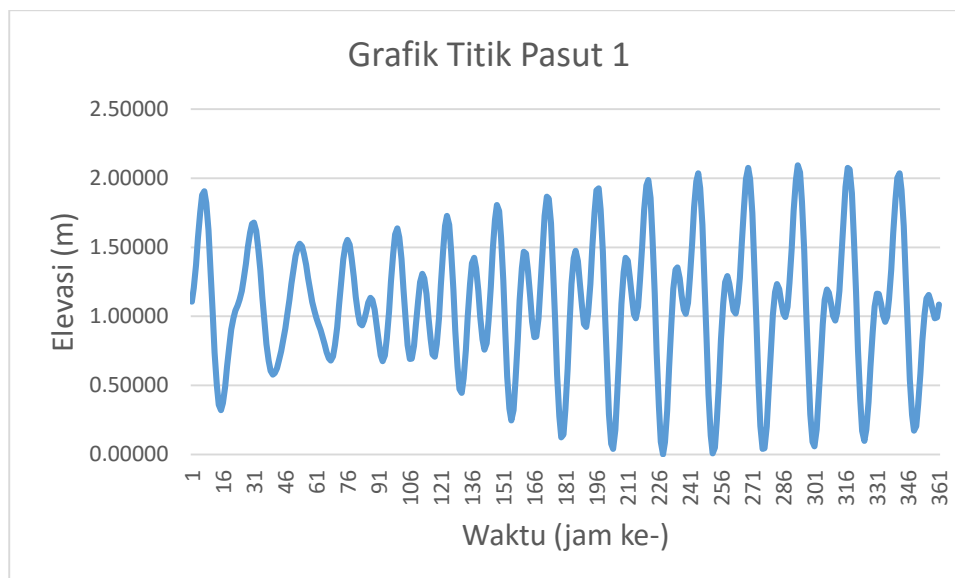
Software MIKE 21 tidak dapat membaca format *file.dwg* maka perlu dikonversikan lagi *vertices* dan *nodes* nya dalam bentuk *file.txt* sehingga siap menjadi input dalam pembuatan meshing pemodelan.

4.1.3 Data Pasang Surut

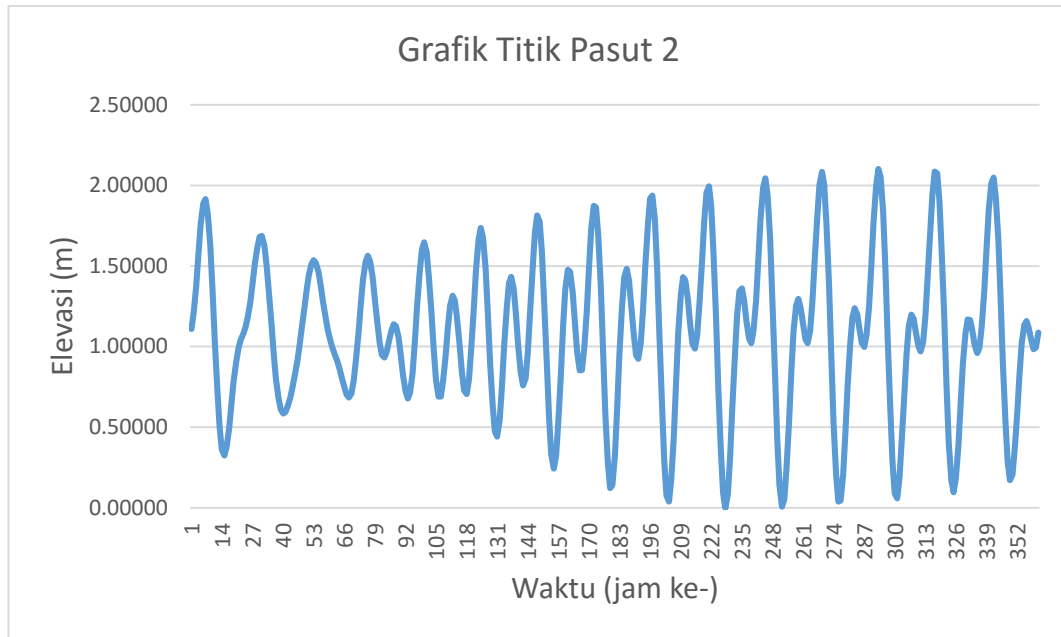
Dalam tugas akhir ini data pasang surut diambil selama 15 hari mulai tanggal 5-19 Oktober 2013 yang berasal dari Global Tide Model (GTM) dengan *constituents* 0.125° yang artinya data tersedia tiap perbedaan koordinat peta sebesar 0,125°. Pengambilan data dilakukan pada empat titik berbeda untuk mendapatkan nilai pasang surut yang berbeda tiap *boundary condition*. Titik Pasut 1 diambil pada koordinat -7.695769° E ; 113.544542° S, titik Pasut 2 pada koordinat -7.682554° E ; 113.555651° S, titik Pasut 3 pada koordinat -7.693971° E ; 113.610662° S, dan titik Pasut 4 pada koordinat -7.717031° E ; 113.615333° S. Lokasi pada peta titik pasang surut ditunjukkan pada Gambar 4.4 sedangkan grafik data pasang surut ditunjukkan pada Gambar 4.5.



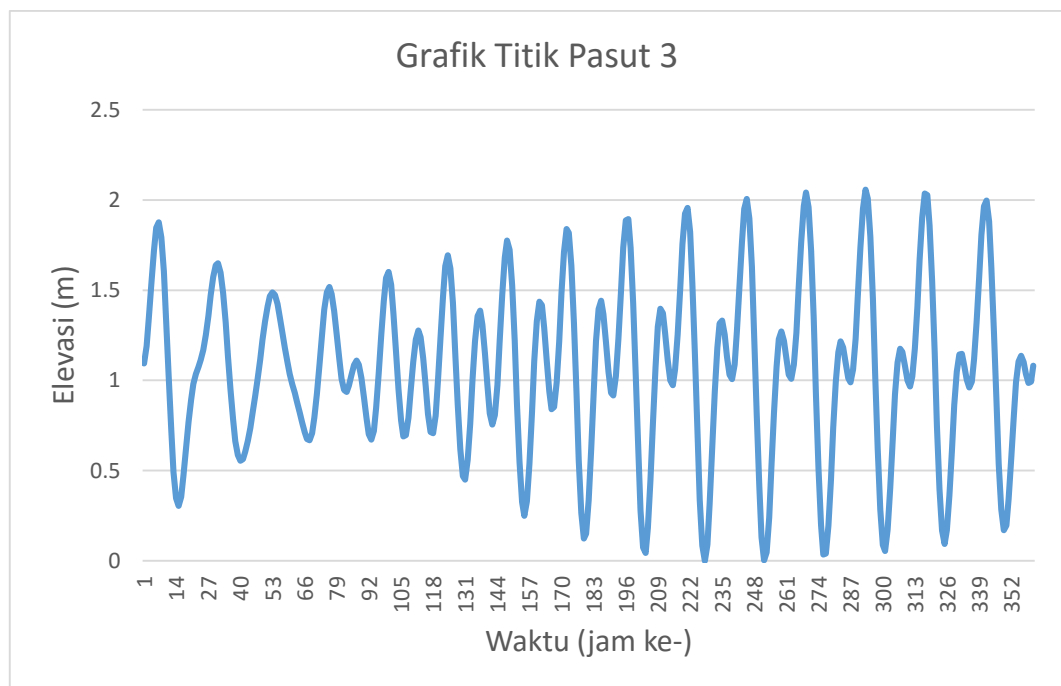
Gambar 4.4 Lokasi Pengambilan Data Pasang Surut dari Global Tide Model (www.googleearth.com , diakses tanggal 17 Juli 2016)



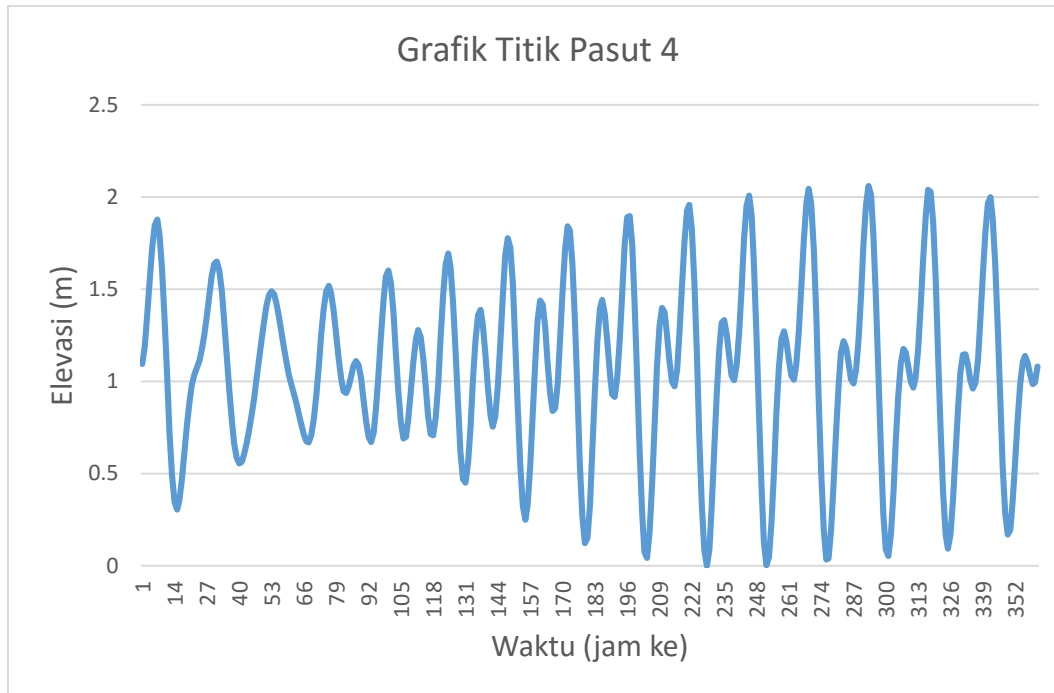
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.5 Data Pasang Surut
(Global Tide Model, diakses tanggal 17 Juli 2016)

Salah satu faktor yang memengaruhi perilaku hidrodinamika laut adalah pasang surut air laut. Pasang surut akibat gaya gravitasi inilah yang dominan mempengaruhi perilaku hidrodinamika laut. Tipe pasang-surut di daerah Paiton termasuk dalam pola pasang surut campuran dengan tipe ganda yang menonjol. Data pasang surut ini akan digunakan sebagai input data *boundary condition* dalam modul hidrodinamika program Mike 21 untuk memperoleh model pola arus.

4.1.4 Data Arus

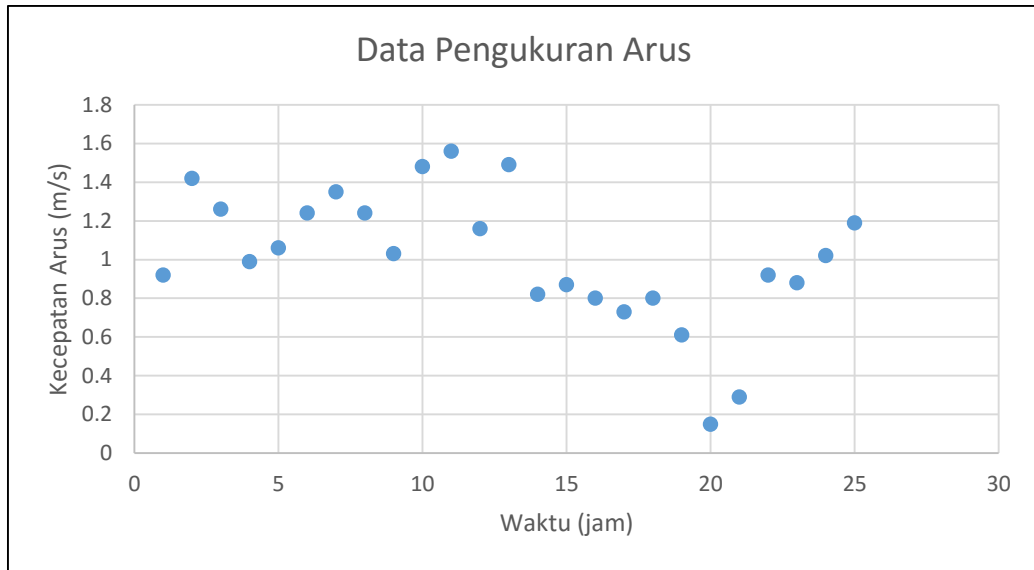
Arus di daerah studi dibangkitkan oleh arus akibat pasang surut air laut dan arus akibat angin. Data kecepatan arus diperoleh dari pengukuran yang dilakukan pada tanggal 6-7 Oktober 2013 dimulai pada jam 17.00 Data arus ini digunakan untuk validasi pemodelan numerik. Pengukuran dilakukan pada dua titik, pengukuran pertama berada pada koordinat $7^{\circ}42'52.33''$ S ; $113^{\circ}35'57.03''$ E. Data arus pengukuran ini ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut ini :



Gambar 4.6 Lokasi Pengukuran Kecepatan Arus
(www.googleearth.com , diakses tanggal 17 Juli 2016)

Tabel 4.1 Data Pengukuran Kecepatan Arus
(Saptarini, Komunikasi Personal, 6 April 2016)

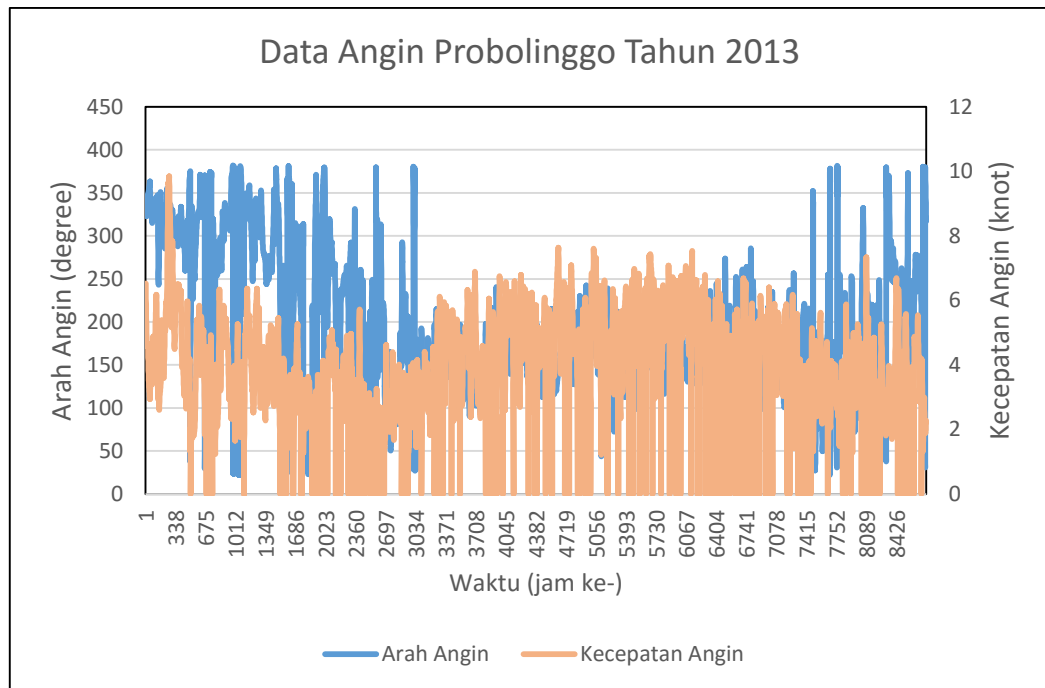
No	Tanggal	jam	Kec.Arus (m/s)	No	Tanggal	jam	Kec.Arus (m/s)
1	6 oktober 2013	17:00	0,92	14	7 Oktober 2013	06:00	0,82
2		18:00	1,42	15		07:00	0,87
3		19:00	1,26	16		08:00	0,8
4		20:00	0,99	17		09:00	0,73
5		21:00	1,06	18		10:00	0,8
6		22:00	1,24	19		11:00	0,61
7		23:00	1,35	20		12:00	0,15
8		00:00	1,24	21		13:00	0,29
9	7 Oktober 2013	01:00	1,03	22		14:00	0,92
10		02:00	1,48	23		15:00	0,88
11		03:00	1,56	24		16:00	1,02
12		04:00	1,16	25		17:00	1,19
13		05:00	1,49				



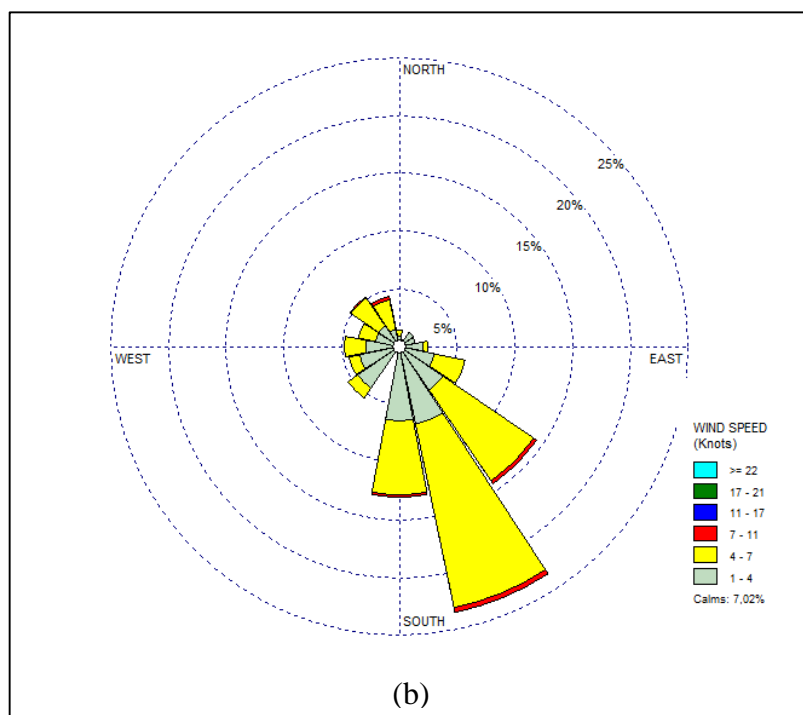
Gambar 4.7 Pengukuran Kecepatan Arus
(Saptarini, Komunikasi Personal, 6 April 2016)

4.1.5 Data Angin

Pola arus pada daerah studi dipengaruhi oleh arus akibat pasang surut dan arus akibat angin. Data angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika adalah data angin Probolinggo pada tahun 2013. Sedangkan grafik windrose menunjukkan arah angin dominan menuju arah tenggara. Grafik dari data angin dan windrose ditunjukkan dalam Gambar 4.8 berikut ini :



(a)



(b)

Gambar 4.8 Data Angin Probolinggo Tahun 2013
(a) Kecepatan dan Arah Angin (b) Mawar Angin
(BMKG, 2016)

4.1.6 Data Suhu Air Laut

Data suhu yang digunakan sebagai input data suhu pada pemodelan MIKE adalah data dari Laporan Andal Paiton tahun 2013. Pada bak penampungan limbah bahang tercatat suhu maksimum sebesar 38.8°C dan pada *Water Discharge* (WD) *Canal* tercatat suhu maksimum sebesar 37.7°C . Penurunan suhu disebabkan oleh *heat exchange* selama perjalanan limbah bahang dari bak penampungan ke WD Canal. Kemudian dilakukan pembulatan untuk input pemodelan suhu di WD Canal sebesar 38°C dan suhu lingkungan sebesar 30°C .

Data validasi model penyebaran suhu limbah panas yang digunakan adalah hasil pengukuran oleh Saptarini et.al, (2014). Hasil studi yang dilakukan pada periode tahun 2013 menunjukkan angka suhu rerata permukaan air laut pada koordinat $7^{\circ}42'53.96''\text{LS}$; $113^{\circ}35'48.86''\text{BT}$ yang kemudian disebut dengan St. Timur WD ditunjukkan pada Gambar 4.9:



Gambar 4.9 Empat Titik Lokasi Pengukuran Suhu (Sapatarini, 2014)
(www.googleearth.com , diakses tanggal 17 Juli 2016)

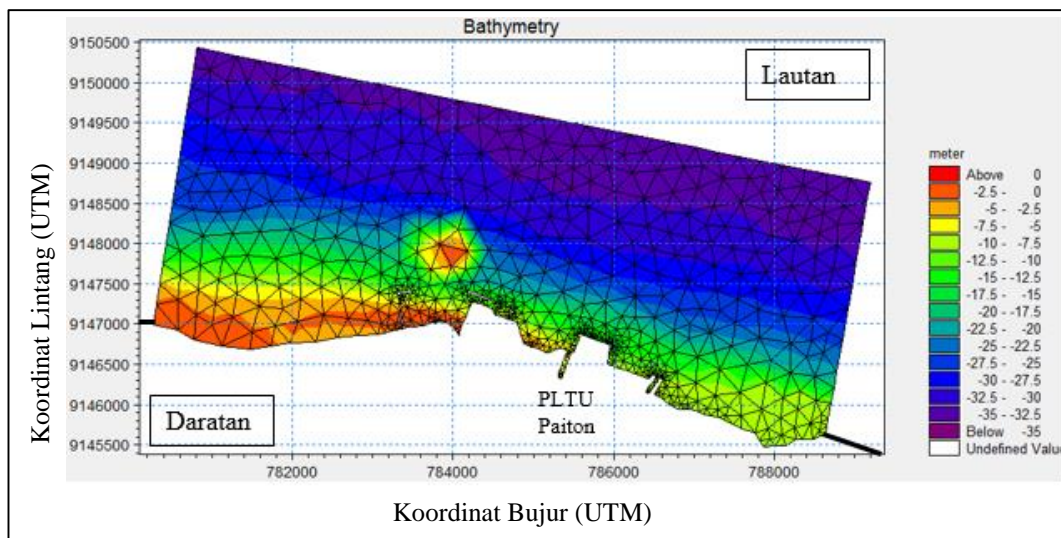
Tabel 4.2 Pengukuran Temperatur Laut di Empat Titik Berbeda
(Saptarini, 2014)

Lokasi Pengamatan	St. Timur WD
Suhu Rata-rata permukaan (°C)	34.5

4.2 PEMODELAN MIKE

4.2.1 Pemodelan Pola Arus

Peta bathimetri yang diperoleh dari BAKOSURTANAL (1993) digunakan dalam pemodelan perairan di lokasi penelitian. Peta bathimetri yang dihasilkan dalam bentuk file AutoCAD. Peta ini kemudian didigitasi untuk mendapatkan koordinat XYZ. Data koordinat XYZ digunakan sebagai input grid model lokasi tersebut. Kemudian hasil luaran dari mesh generator diinterpolasikan sehingga diperoleh file meshing (*file.mesh*). Data hasil meshing ini yang nantinya akan digunakan sebagai data utama untuk melakukan simulasi aliran dan simulasi sebaran temperature pada MIKE. Daerah pemodelan ini dibatasi oleh domain segiempat. Elemen yang digunakan adalah elemen segitiga sebanyak 1414 elemen dan 862 node.



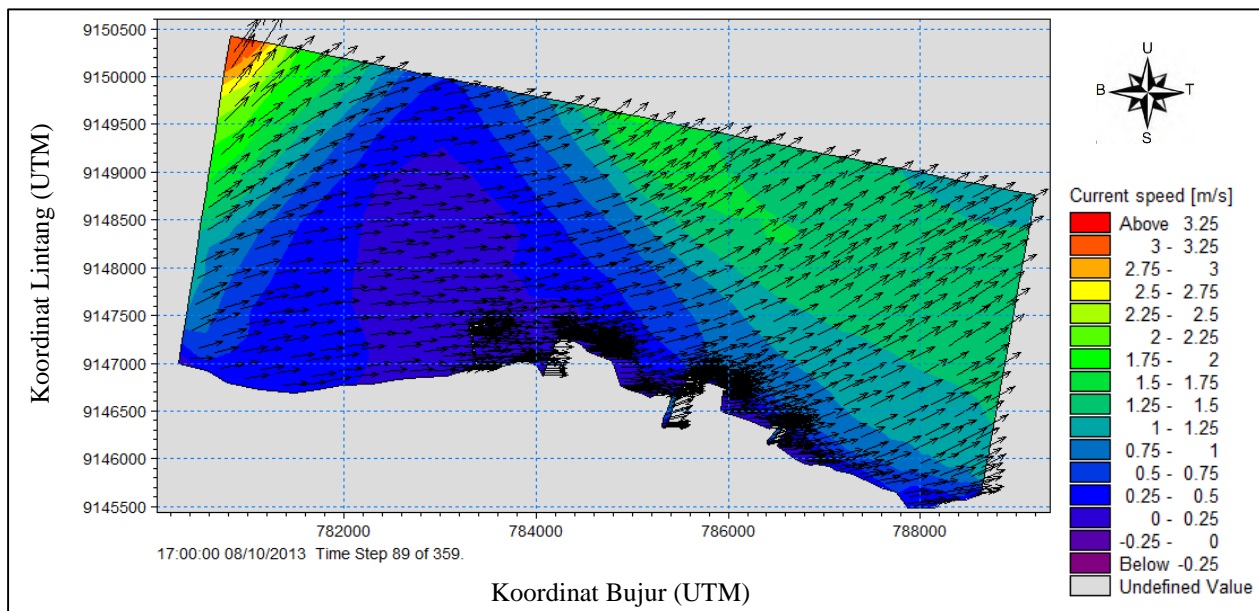
Gambar 4.10 Elemen Meshing dan Kedalaman Laut di Lokasi Penelitian

4.2.2 Simulasi Pola Arus

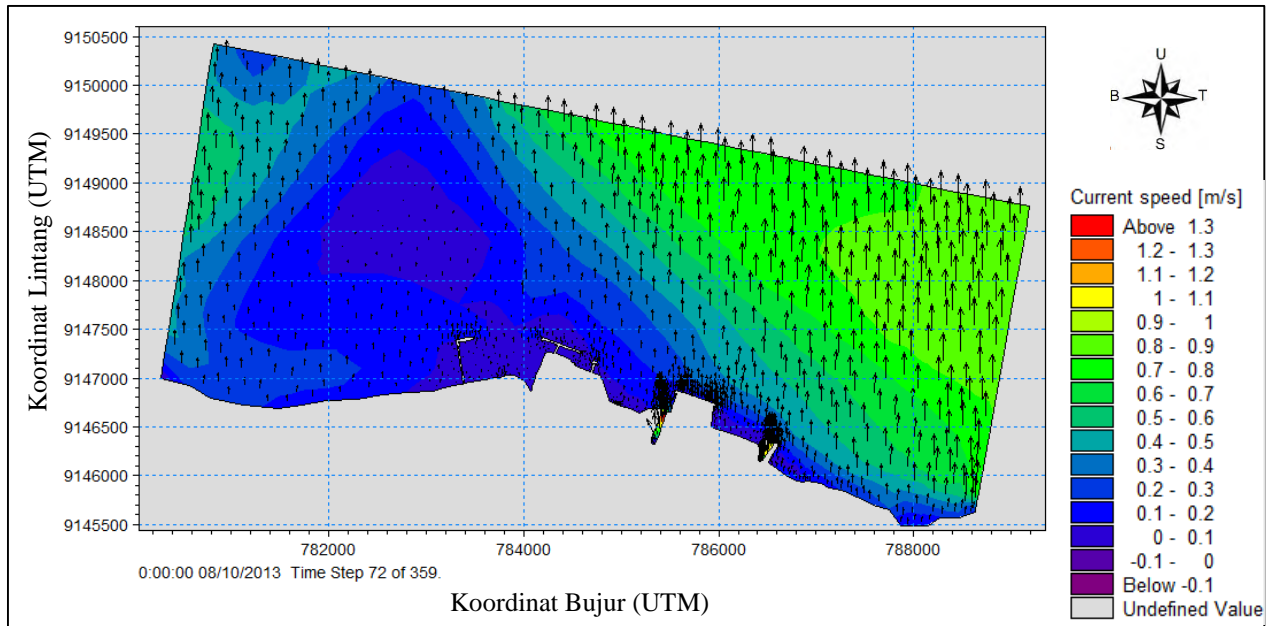
Data hasil meshing merupakan data inputan utama yang akan digunakan dalam proses simulasi. Proses simulasi yang pertama adalah simulasi pola arus. Dalam simulasi pola arus, menggunakan data pasang surut yang diperoleh dari GTM selama 15 hari. Selanjutnya data yang dibutuhkan adalah data discharge yang diperoleh dari Laporan Andal Paiton tahun 2013, data discharge ini akan mempengaruhi pola arus yang terjadi.

Data input dalam pemodelan hidrodinamika menggunakan data flowrate limbah sebesar $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Bed resistance berdasarkan default nilai chezy number sebesar $32 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$. Parameter *coriolis* yang dimasukkan sebagai *input* adalah nilai lintang -7.7145 . Koefisien turbulensi *eddy* yang digunakan adalah pada kondisi *default*. Suhu lingkungan air laut yang digunakan pada pemodelan hidrodinamika ini adalah 30°C . Nilai densitas berdasarkan parameter suhu 30°C dan salinitas 32 PSU.

Kecepatan arus yang dinyatakan dalam m/s adalah salah satu hasil dari simulasi ini. Dalam simulasi ini dilakukan analisa pada 2 kondisi yaitu kondisi pasang tertinggi dan surut terendah. Dari hasil simulasi didapatkan kondisi pasang tertinggi terjadi pada 8 Oktober 2013 jam 17.00 WIB dan kondisi surut terendah terjadi pada 8 Oktober 2013 jam 00.00 WIB.



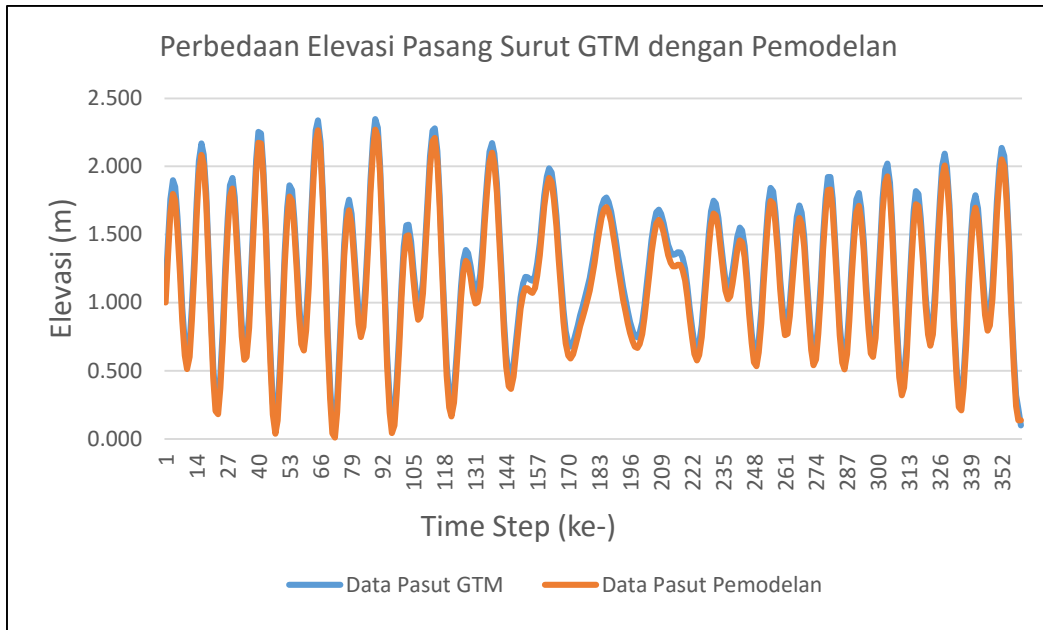
Gambar 4.11 Pemodelan Kecepatan Arus saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.12 Pemodelan Kecepatan Arus saat Surut Terendah

4.2.3 Validasi Pasang Surut

Pada kenyataannya, hasil simulasi tidak selalu sesuai dengan keadaan yang sesungguhnya. Oleh karena itu perlu dilakukan validasi untuk melihat perbandingan hasil kecepatan arus dari pemodelan dengan hasil pengukuran langsung di lapangan. Grafik perbedaan pasang surut pemodelan dan pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut ini:



Gambar 4.13 Perbandingan Data Pasang Surut GTM dan Pemodelan

Selanjutnya dilakukan koreksi hasil simulasi untuk mengetahui layak atau tidaknya hasil ini digunakan untuk analisa selanjutnya, dengan menggunakan rumus Prosentase Error sebagai berikut :

$$ERROR : \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{x}_i - x_i)^2}{TP} \right] \times 100\% \quad (4.1)$$

Dimana :

n = jumlah data

\hat{x}_i = data pemodelan

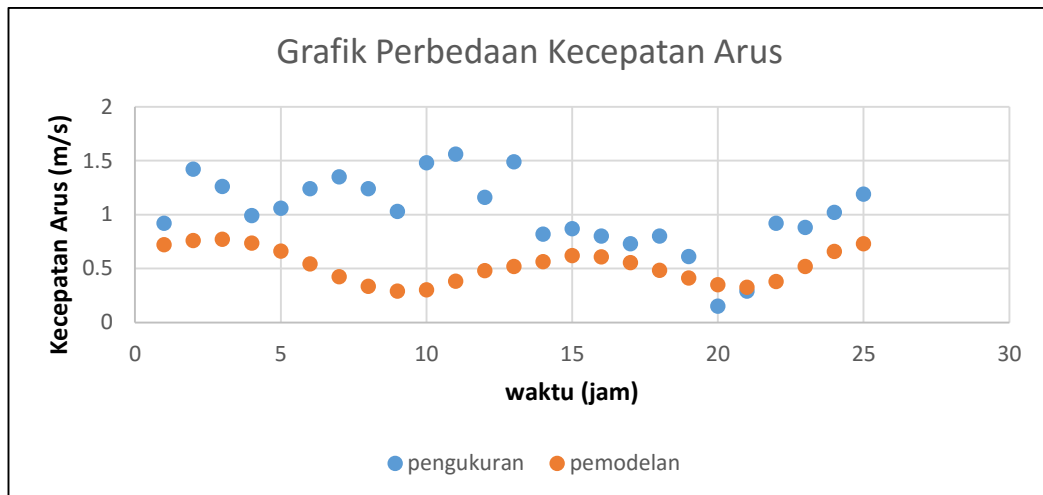
x_i = data lapangan

TP = Tunggang pasang, rentang besar hasil observasi yaitu selisih antara nilai terbesar dan terkecil

Dari grafik diatas terlihat pola pasang surut yang hampir sama dengan nilai eror 3,8%. Maka data pemodelan pasang surut ini dapat digunakan untuk analisa selanjutnya.

4.2.4 Validasi Arus

Validasi Arus dilakukan peninjauan pada beberapa lokasi sesuai dengan data pengukuran yang ada. Validasi ini dilakukan pada titik lokasi dengan koordinat 7°42'52.33" S ; 113°35'57.03" E.

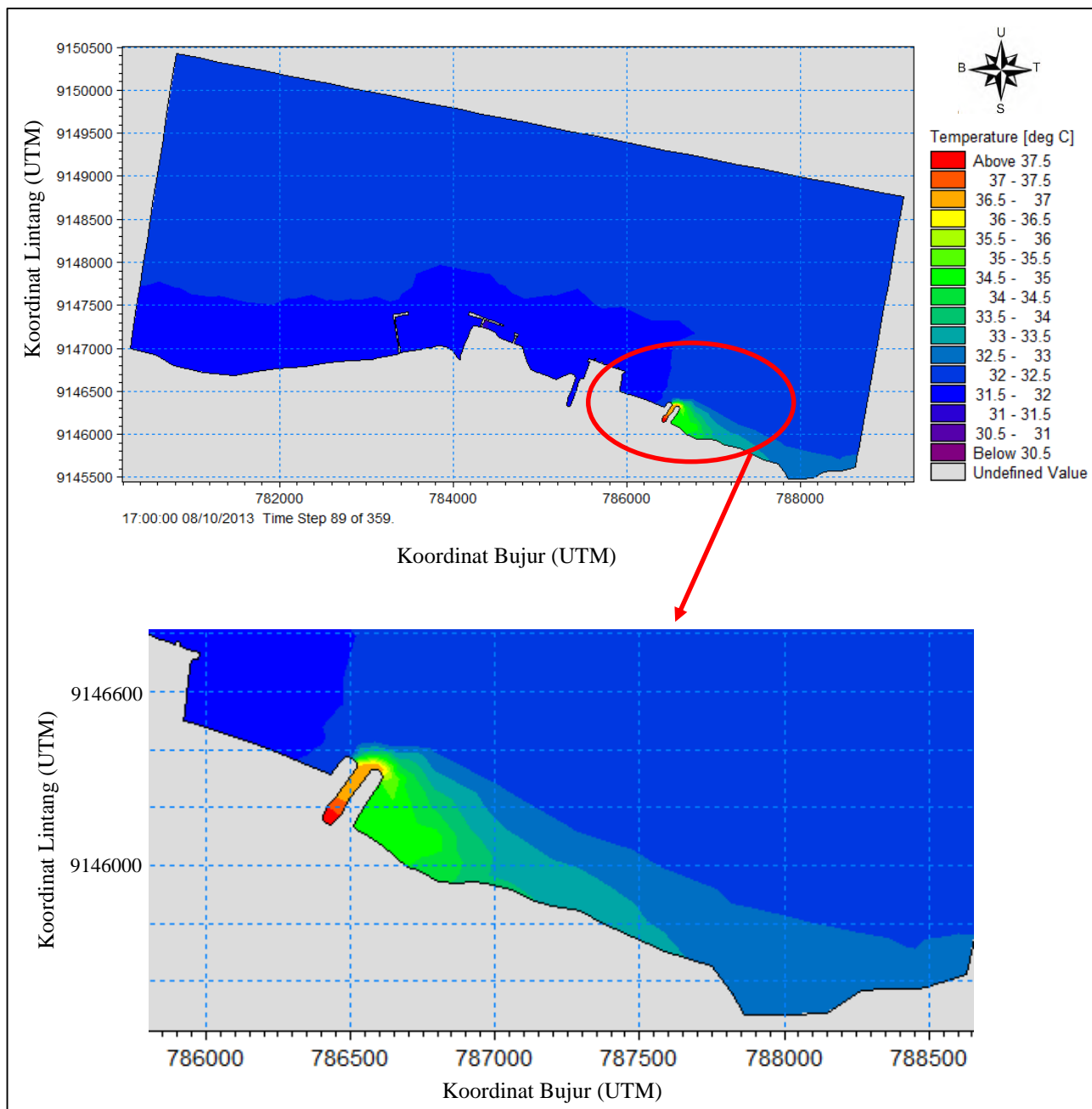


Gambar 4.14 Perbandingan Data Pengukuran dan Pemodelan Kecepatan Arus pada Koordinat 7°42'52.33"S ; 113°35'57.03"E

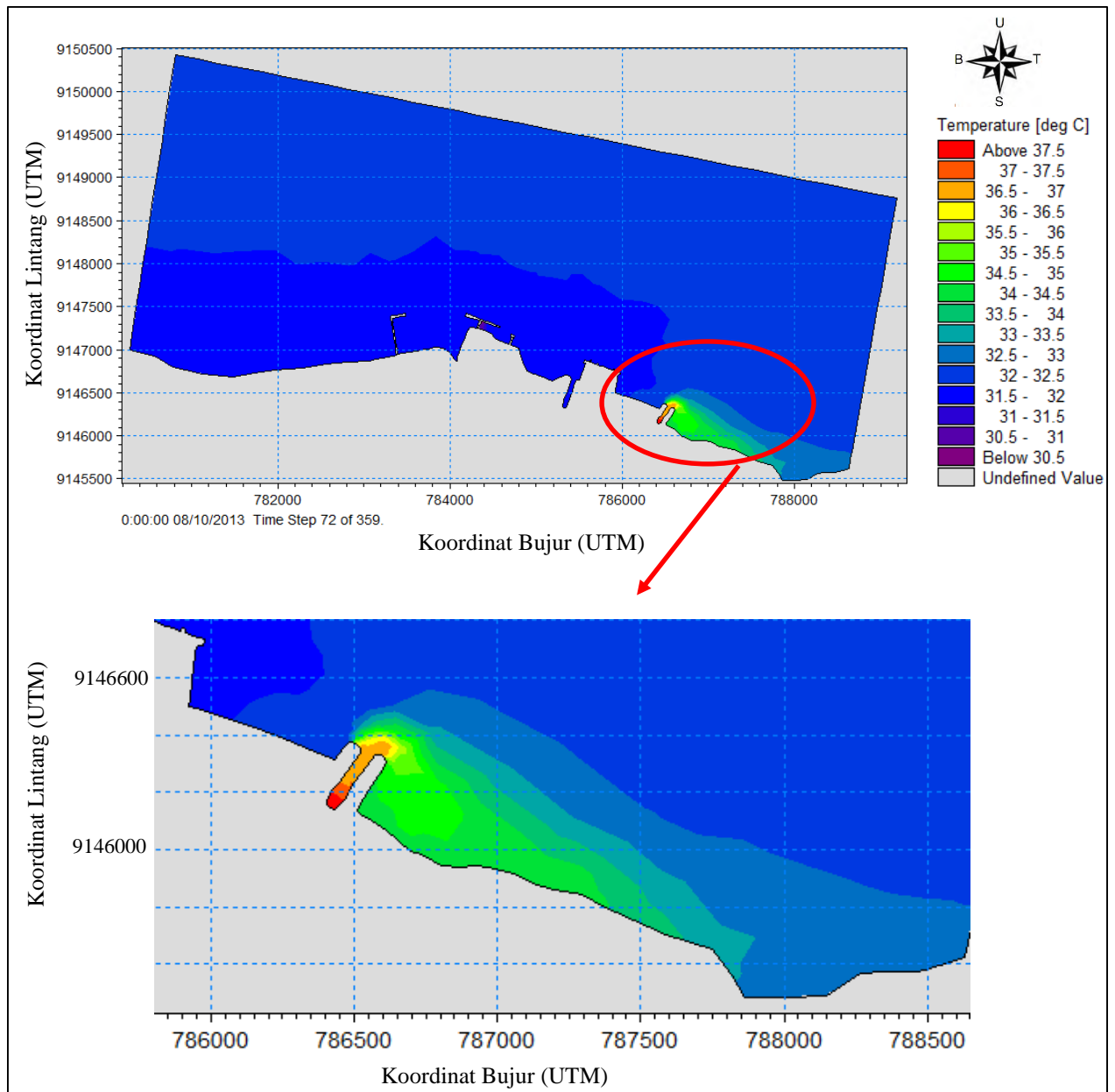
Dari hasil perhitungan diperoleh nilai eror sebesar 25,4%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi arus dengan MIKE dapat digunakan untuk simulasi selanjutnya. Asumsi yang digunakan pada analisa pemodelan arus laut adalah bahwa arus dibangkitkan oleh pasang surut dan angin. Model yang telah divalidasi dianggap dapat merepresentasikan kondisi lokasi studi.

4.2.5 Pemodelan Persebaran Suhu

Persebaran suhu limbah bahang di laut dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah pola arus perairan, perpindahan panas ke udara, waktu penyebaran. Pemodelan persebaran panas kali ini akan dimasukkan faktor pola arus perairan yang sudah dimodelkan sebelumnya, sedangkan koefisien factor perpindahan panas di udara diabaikan karena keterbatasan data. Data yang digunakan sebagai input data persebaran suhu adalah suhu di lokasi water discharge, water intake dan suhu ambient perairan. Hasil pemodelan persebaran suhu saat pasang tertinggi terdapat pada Gambar 4.15, sedangkan saat surut terendah pada Gambar 4.16.



Gambar 4.15 Pemodelan Persebaran Suhu saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.16 Hasil Pemodelan Persebaran Suhu saat Surut Terendah

4.2.6 Validasi Suhu

Seperti yang dilakukan validasi pada pemodelan pola arus, pemodelan persebaran suhu juga perlu dilakukan. Dalam hal ini dilakukan peninjauan pada lokasi sesuai dengan data pengukuran yang ada. Validasi suhu dilakukan pada titik pengukuran St. Timur WD, yaitu pada koordinat $7^{\circ}42'56.99''$ LS ; $113^{\circ}35'55.0''$ BT.

Tabel 4.3 Perbandingan Suhu Hasil Pengukuran dan Pemodelan.

Stasiun Pengamatan Suhu	Timur WD
Pemodelan (°C)	33.75
Pengukuran (°C)	34.50
Selisih (°C)	0.75
Persentase Error (%)	2.18

Untuk mengecek nilai error dari pemodelan juga dilakukan dengan rumus presentase Error. Nilai error dari hasil pemodelan dan hasil pengukuran sebesar 2,18%. Penyebab perbedaan hasil bisa disebabkan oleh faktor persebaran suhu yang diabaikan karena keterbatasan data.

4.3 ANALISA STATISTIK PEMODELAN LIMBAH AIR PANAS

Analisa probabilitas suhu dilakukan di empat titik baru pada area pemodelan, lokasi tersebut ditampilkan dalam Gambar 4.17. Kemudian keempat titik baru disebut dengan :

- Titik A ($7^{\circ}42'54.20''S$; $113^{\circ}35'59.45''E$)
- Titik B ($7^{\circ}42'49.98''S$; $113^{\circ}35'52.87''E$)
- Titik C ($7^{\circ}42'49.99''S$; $113^{\circ}35'57.04''E$)
- Titik D ($7^{\circ}42'51.93''S$; $113^{\circ}35'53.17''E$).



Gambar 4.17 Empat Titik Baru Pemodelan Suhu
(www.googleearth.com , diakses tanggal 17 Juli 2016)

Analisa pertama yaitu menentukan jenis distribusi teoritis dari model kecepatan arus, kemudian mencari *performance function* antara model kecepatan arus dengan model suhu. Setelah itu baru dilakukan simulasi Montecarlo. Simulasi Montecarlo dilakukan pengulangan uji sampel selama N kali sampai mendapatkan nilai suhu yang stabil. Kemudian nilai suhu selama N kali simulasi disesuaikan dengan jenis distribusi teoritis.

4.3.1 Menentukan Performance Function

Langkah pertama dalam analisa statistik kali ini yaitu menentukan *performance function*. Digunakan aplikasi Minitab 16 untuk mempermudah menentukan rumus regresi/*performance function* antara model kecepatan arus dan model suhu. Untuk melihat hasil regresi terbaik maka dilakukan perbandingan menggunakan hasil regresi aritmatik dan regresi logaritma.

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai R-Sq antar Fungsi Regresi

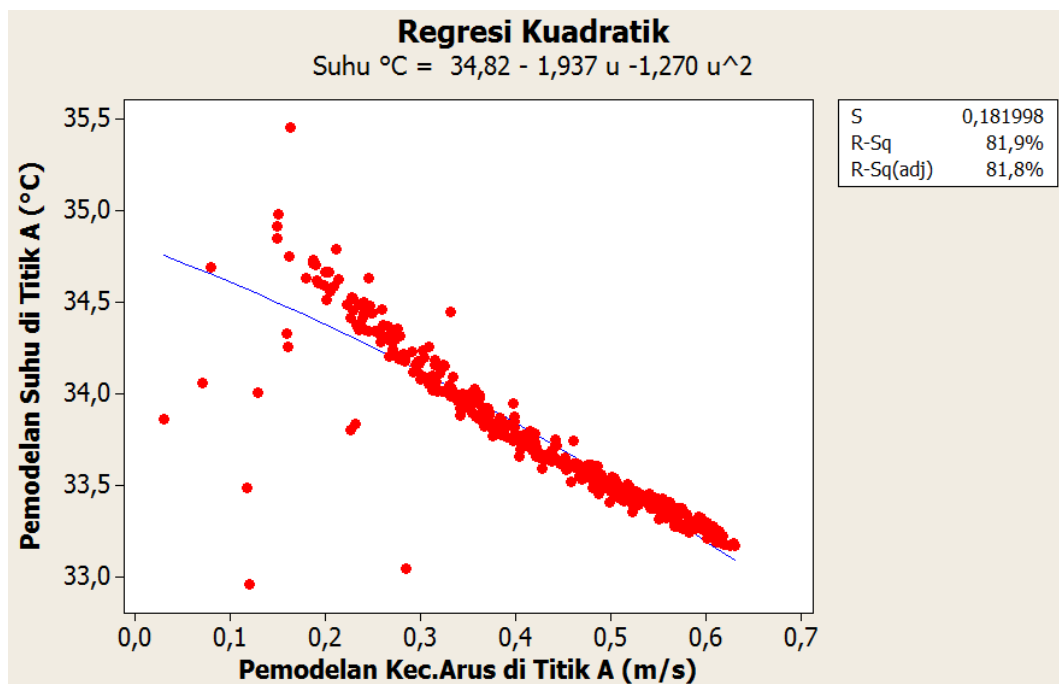
No	Skala	Titik A		Titik B		Titik C		Titik D	
		Aritmatik	Log	Aritmatik	Log	Aritmatik	Log	Aritmatik	Log
1	R-Sq Regresi Kuadratik	81.90%	85.10%	88.30%	90.30%	82.70%	81.40%	96.40%	96.40%
2	R-Sq Regresi Linier	81.60%	67.30%	78.60%	87.80%	77.10%	80.70%	94.90%	96.30%

Penentuan regresi terbaik didasarkan pada nilai R-Sq yang bermakna besarnya keterikatan antar variable dalam mempengaruhi variabel lain. Nilai R-Sq berada di rentang nilai 0% (tidak berhubungan sama sekali) sampai 100% (berhubungan sempurna). Hasil regresi pada Tabel 4.4, semua diatas nilai 70%, yang berarti rumus tersebut dapat digunakan pada simulasi Montecarlo. Untuk mempermudah tahap analisa, maka dipilih salah satu jenis regresi.

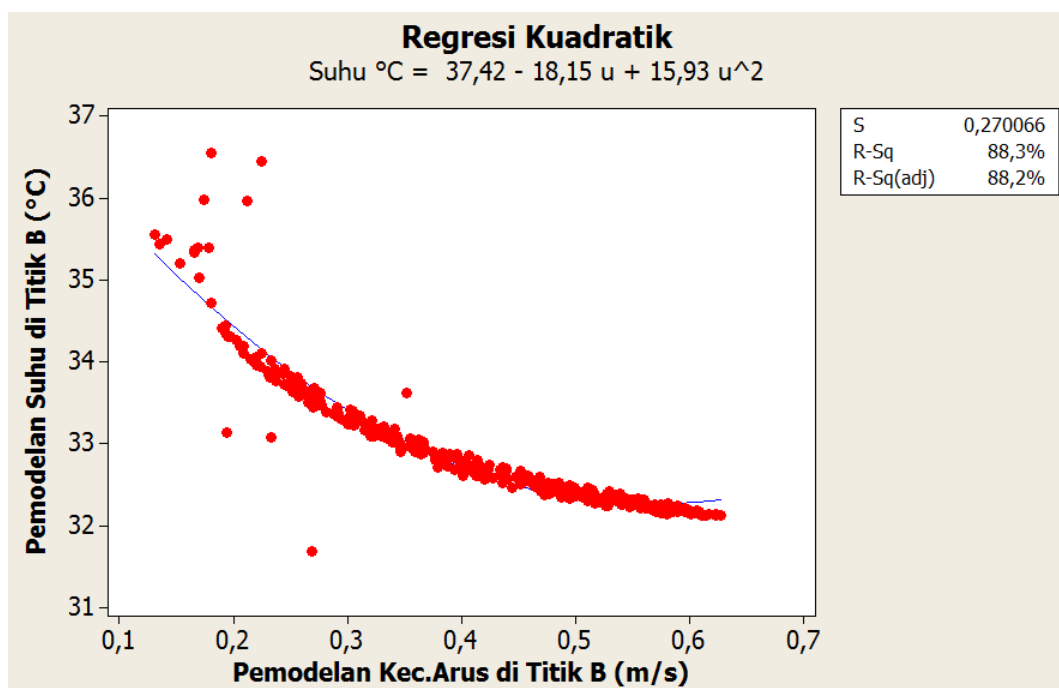
Pemilihan rumus pada Titik A jatuh pada regresi aritmatik kuadratik. Meskipun regresi log aritmatik menunjukkan nilai R-Sq yang lebih besar, namun garis regresinya jauh dari sebaran data. Jika dibandingkan dengan regresi aritmatik kuadratik, secara visual antara garis regresi dan sebaran data terlihat lebih bagus regresi aritmatik kuadratik. Grafik dari regresi log kuadratik Titik A ditampilkan dalam halaman lampiran.

Sedangkan nilai R-Sq untuk Titik C dan D terlihat lebih tinggi pada regresi aritmatik kuadratik serta visualisai dari grafik sebaran data dan garis regresinya pun terlihat bagus. Maka untuk Titik C dan D menggunakan rumus regresi aritmatik kuadratik.

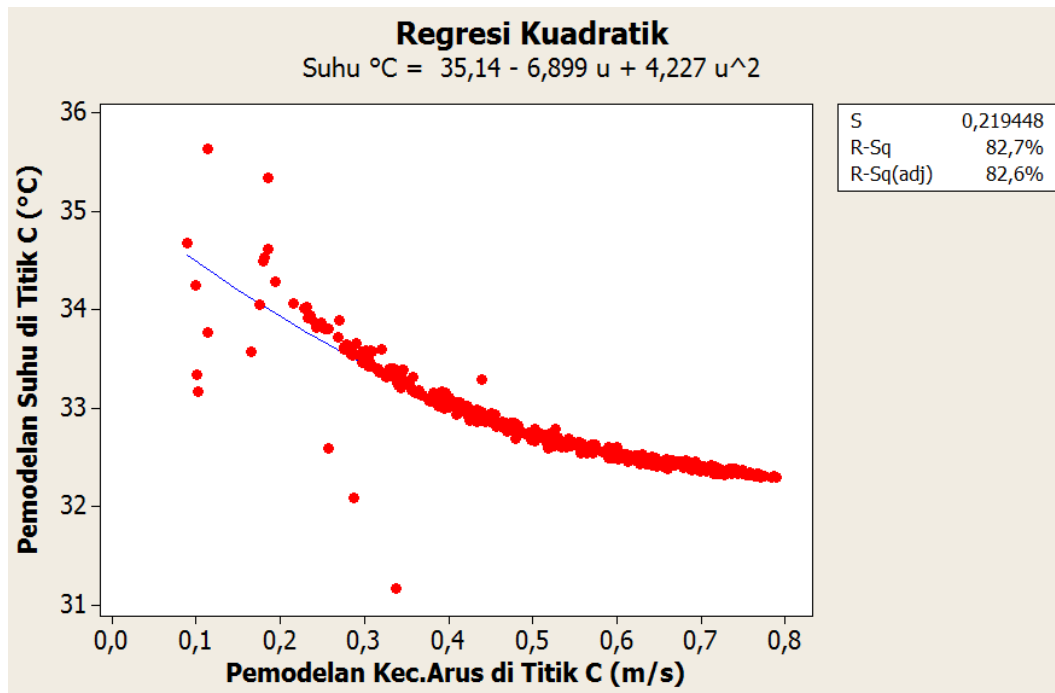
Pada Titik B tercatat nilai R-Sq dari regresi log kuadratik lebih tinggi dengan visualisai grafik sebaran data dan garis regresi yang bagus. Namun untuk mempermudah pada simulasi selanjutnya, dipilih rumus regresi aritmatik kuadratik yang mana nilai R-Sq masih tetap memenuhi batas minimum. Grafik regresi yang terpilih sebagai *performance function* pada simulasi Montecarlo ditunjukkan pada Gambar 4.18 berikut ini :



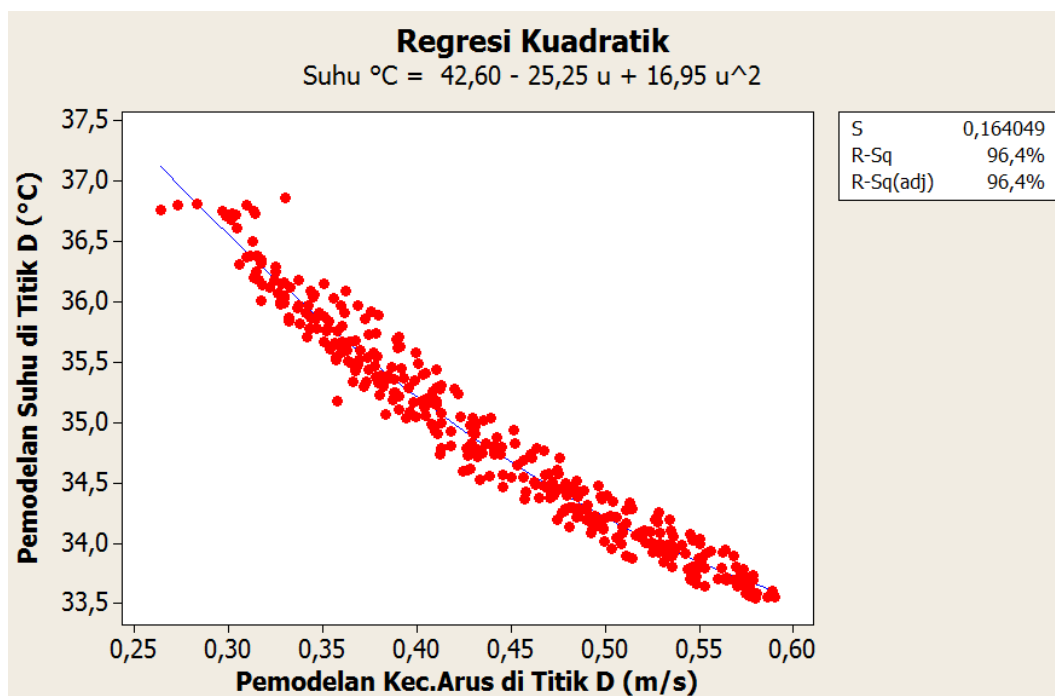
(a)



(b)



(c)



(d)

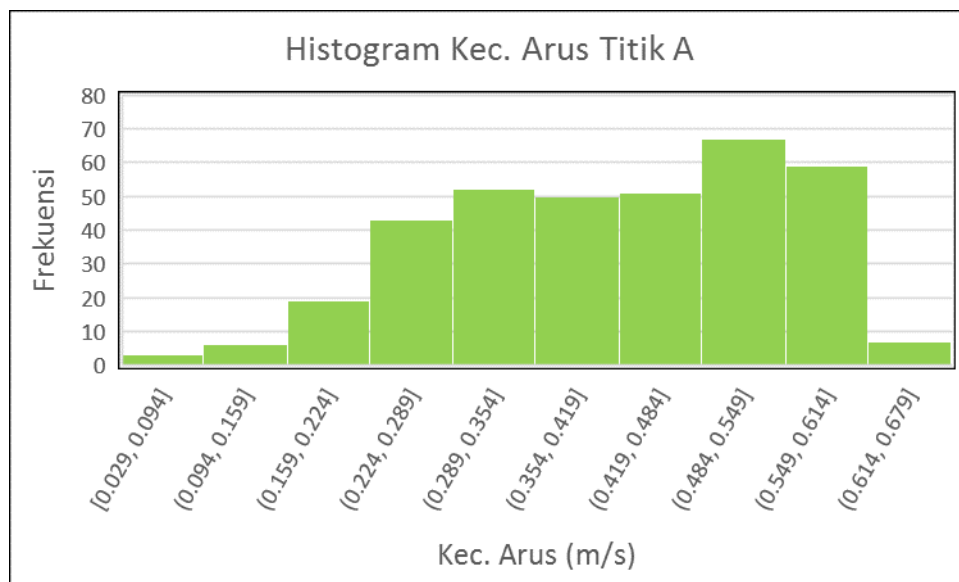
Gambar 4.18 Performance Function
 (a) Titik A, (b) Titik B, (c) Titik C, (d) Titik D

Kesimpulan dari *performance function* keempat titik yang digunakan untuk simulasi Montecarlo dirangkum dalam Tabel 4.5, yang mana T adalah suhu dalam $^{\circ}\text{C}$ dan u adalah kecepatan arus dalam m/s.

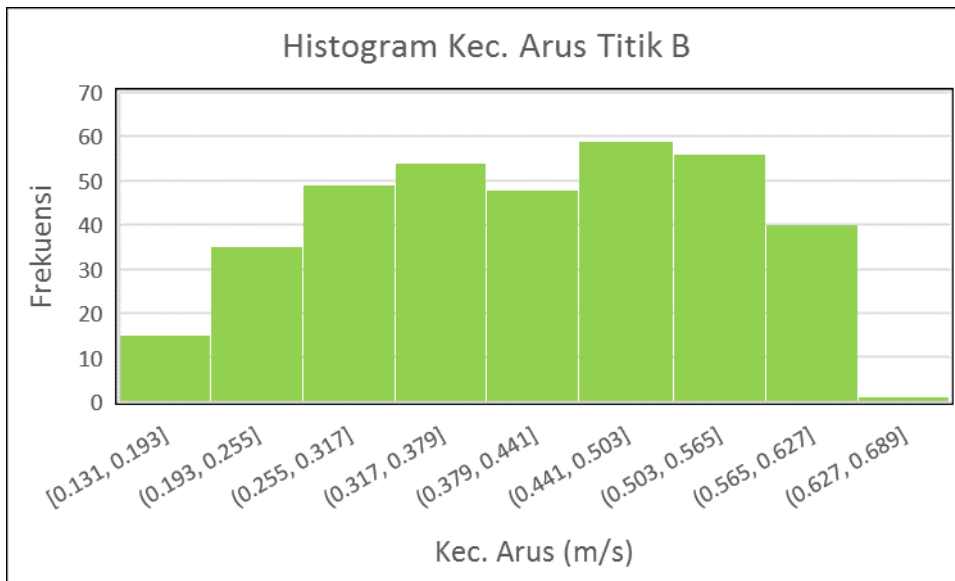
Tabel 4.5 Performance Function untuk Keempat Titik		
No	Lokasi	Performance Function
1.	Titik A	$T = 34,82 - 1,937u - 1,270u^2$
2.	Titik B	$T = 37,42 - 18,15u + 15,93u^2$
3.	Titik C	$T = 35,14 - 6,899u + 4,227u^2$
4.	Titik D	$T = 42,60 - 25,25u + 16,95u^2$

4.3.2 Menentukan Distribusi Teoritis dari Kecepatan Arus

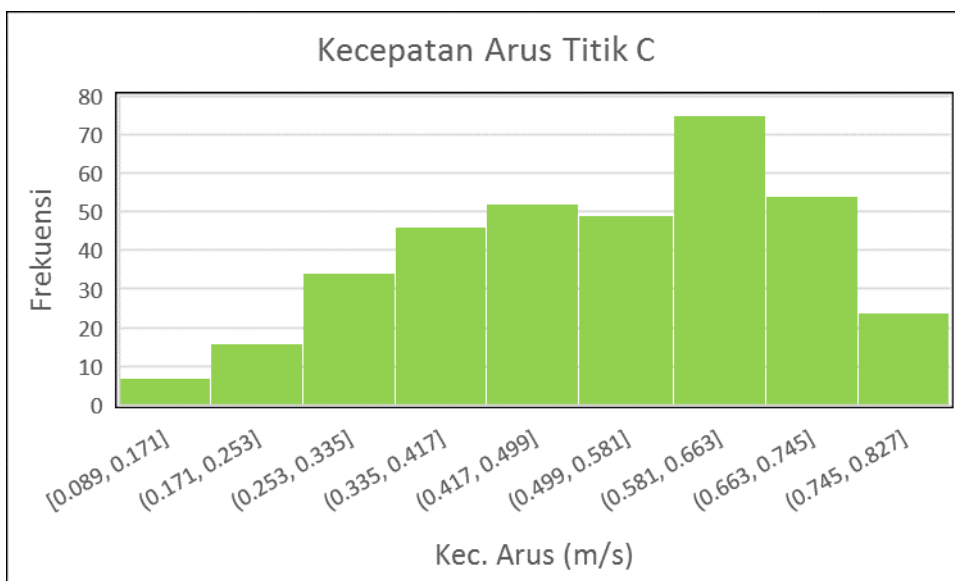
Hasil pemodelan arus dihasilkan data kecepatan pada empat titik lokasi pengamatan. Kemudian untuk analisa selanjutnya, kecepatan arus tersebut disesuaikan dengan jenis distribusi teoritis. Histogram data kecepatan arus tersebut ditampilkan dalam Gambar 4.19 berikut ini :



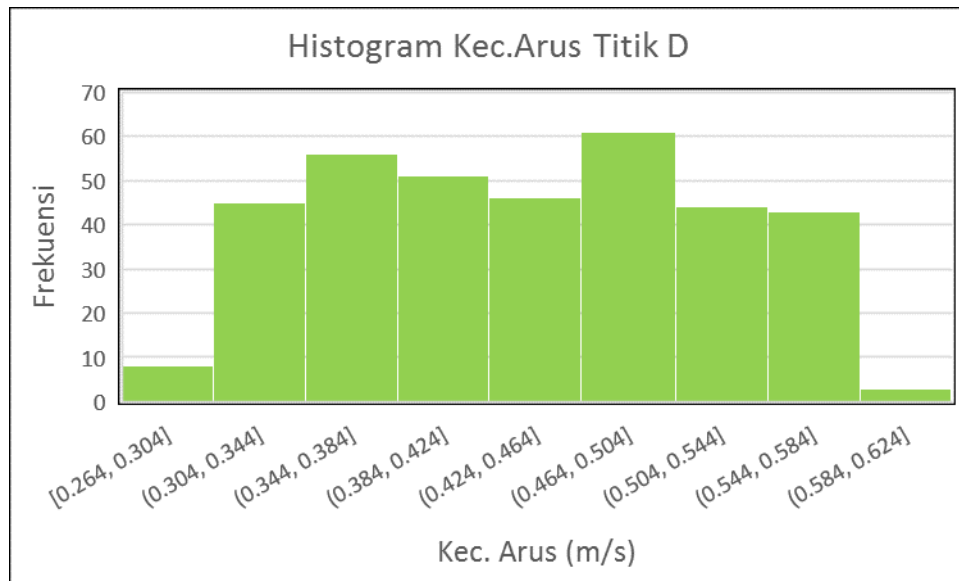
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.19 Histogram Data Pemodelan Kecepatan Arus
(a) Titik A, (b) Titik B, (c) Titik C, (d) Titik D

Analisa distribusi dilakukan dengan bantuan aplikasi Easyfit. Caranya dengan memasukkan data model kecepatan arus dari masing-masing titik pengamatan, kemudian dihasilkan beberapa jenis distribusi. Distribusi tersebut mempunyai ranking berdasarkan keakuratan distribusi yang dihasilkan oleh sebaran data, ranking tersebut dibedakan oleh parameter masing-masing distribusi. Tabel 4.6 Menunjukkan hasil *fitting* distribusi berdasarkan ranking keakuratan jenis distribusi.

Tabel 4.6 Perbandingan Ranking Distribusi Model Kecepatan Arus

Ranking	Parameter	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
1	Distribusi	Beta	Johnson SB	Kumaraswamy	Gen. Pareto
2		Burr	Wakeby	Beta	Uniform
3		Burr (4P)	Beta	Johnson SB	Wakeby
4		Cauchy	Kumaraswamy	Wakeby	Johnson SB
5		Dagum	Uniform	Uniform	Error
6		Dagum (4P)	Gen. Pareto	Dagum (4P)	Gen. Extreme Value
7		Erlang	Error	Pert	Beta
8		Erlang (3P)	Dagum (4P)	Gen. Pareto	Kumaraswamy
9		Error	Gen.Gamma (4P)	Gen. Extreme Value	Pert
10		Error Function	Power Function	Triangular	Dagum (4P)

Untuk mempermudah analisa selanjutnya, maka digunakan distribusi Beta yang mana dimiliki dari keempat titik dan memiliki ranking yang tinggi. Lebih jelasnya untuk grafik distribusi Beta dan parameternya ditampilkan pada halaman lampiran.

Dalam analisa probabilitas persebaran suhu di stasiun pengamatan, dibutuhkan simulasi Montecarlo untuk mendapatkan peluang kejadian nilai suhu yang lebih banyak. Simulasi Montecarlo membutuhkan *performance function* antara kecepatan arus dan suhu. Titik suhu yang digunakan adalah stasiun baru yang diambil dari data pemodelan, yaitu Titik A, Titik B, Titik C, dan Titik D. Kemudian memunculkan nilai bilangan acak sejumlah N kali sampai mendapatkan grafik simulasi yang stabil.

4.3.3 Simulasi Montecarlo

Simulasi Montecarlo adalah percobaan elemen dengan menggunakan sample acak. Dalam hal ini, simulasi Montecarlo berfungsi menghasilkan data perkiraan suhu di lokasi studi. Sehingga dapat merepresentasikan peluang kejadian suhu yang sebenarnya.

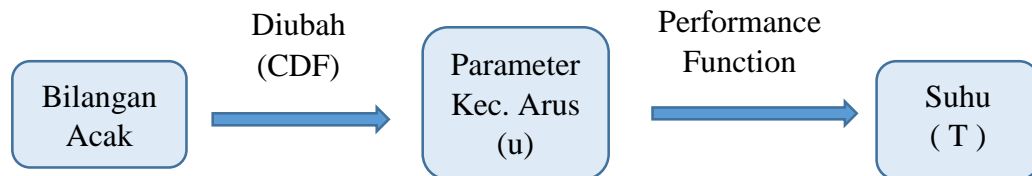
Langkah pertama dalam simulasi Montecarlo adalah menentukan bilangan acak. Bilangan acak harus diubah kedalam parameter variable bebas (kecepatan arus) menggunakan fungsi CDF dari distribusi kecepatan arus yang ditentukan. Setelah itu dimasukkan dalam *performance function* yang sudah dibentuk sebelumnya. Simulasi diulang terus sampai mendapatkan grafik data yang stabil.

Dari analisa tahap sebelumnya ditentukan distribusi kecepatan arus dengan distribusi Beta. Maka fungsi CDF yang digunakan berasal dari fungsi distribusi Beta dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{B_x(\alpha, \beta)}{B(\alpha, \beta)} \quad (4.2)$$

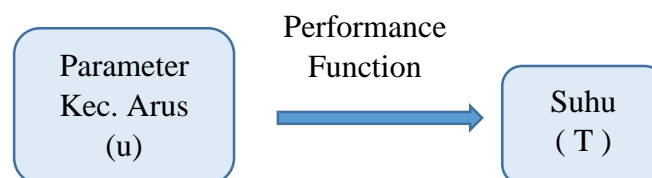
Dimana

- $B_x(\alpha, \beta) = \int_0^x t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1} dt$
- $B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1} dt$



Gambar 4.20 Skema Simulasi Montecarlo dengan Pembangkitan Bilangan Acak Secara Manual

Skema diatas adalah cara manual simulasi Montecarlo saat memunculkan bilangan acak yang diubah ke parameter arus. Untuk mempermudah dalam perhitungan transformasi bilangan acak ke parameter arus dilakukan dengan software Easyfit. Yang mana proses transformasi dilakukan secara otomatis oleh software dengan cara memasukkan parameter-parameter distribusi kecepatan arus. Kemudian dihasilkan parameter arus yang diinginkan. Sehingga skema berubah menjadi seperti Gambar 4.21 seperti berikut ini :



Gambar 4.21 Skema Simulasi Montecarlo dengan Pembangkitan Bilangan Acak Secara Otomatis

Setelah didapatkan nilai kecepatan arus (u), kemudian dimasukkan dalam *performance function* untuk menghasilkan nilai perkiraan suhu. Dalam pengerjaan ini proses perhitungan dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel. Tabel 4.7 merupakan sampel tabel perhitungan simulasi Montecarlo dengan sepuluh bilangan acak pada Titik A.

Tabel 4.7 Perhitungan Suhu dengan Sepuluh Sampel Bilangan Acak

No	Parameter Kec.Arus (m/s)	Simulasi Suhu Titik A (°C)
1	0,328	34,047
2	0,448	33,698
3	0,450	33,690
4	0,482	33,591
5	0,512	33,495
6	0,449	33,695
7	0,613	33,155
8	0,548	33,376
9	0,588	33,243
10	0,355	33,973

Dari simulasi diatas dihasilkan nilai suhu *snapshot* untuk sepuluh sampel. Kemudian dilakukan simulasi dengan jumlah sampel berbeda. Dari nilai suhu *snapshot* tersebut, dilakukan perhitungan rata-rata suhu pada masing-masing simulasi, kemudian diplot dalam grafik hingga dihasilkan garis yang konstan. Tabel 4.8 menunjukkan nilai suhu rata-rata hingga mencapai nilai stabil pada masing-masing titik lokasi pengamatan, dan Gambar 4.22 merupakan grafik dari nilai tersebut.

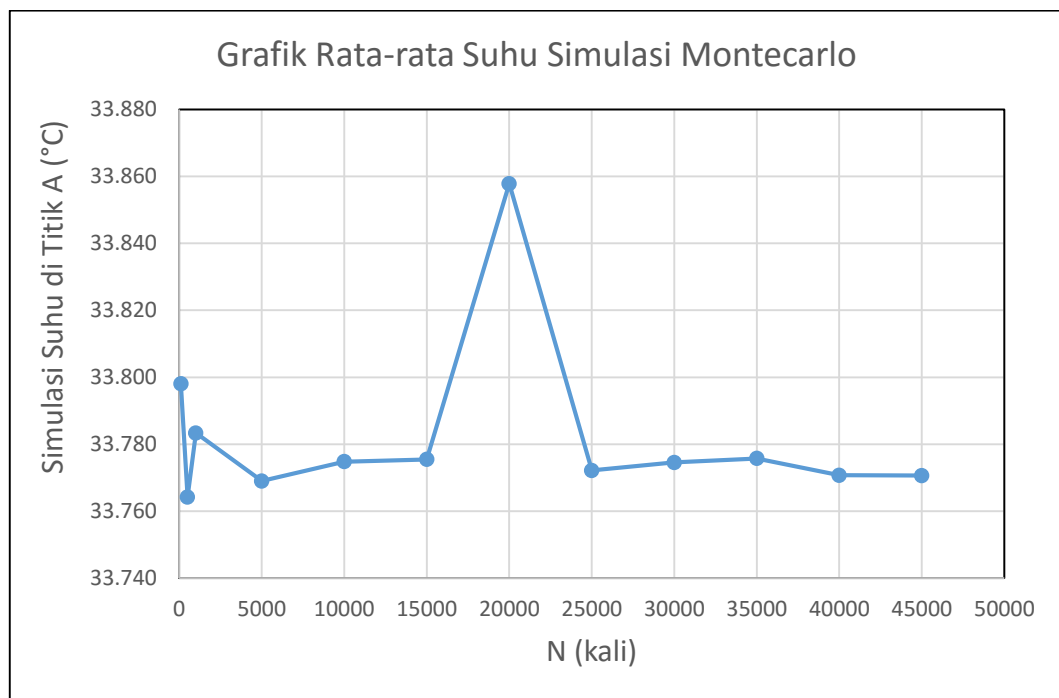
Tabel 4.8 Jumlah Simulasi Montecarlo
(a) Titik A dan B, (b) Titik C dan D

(a)

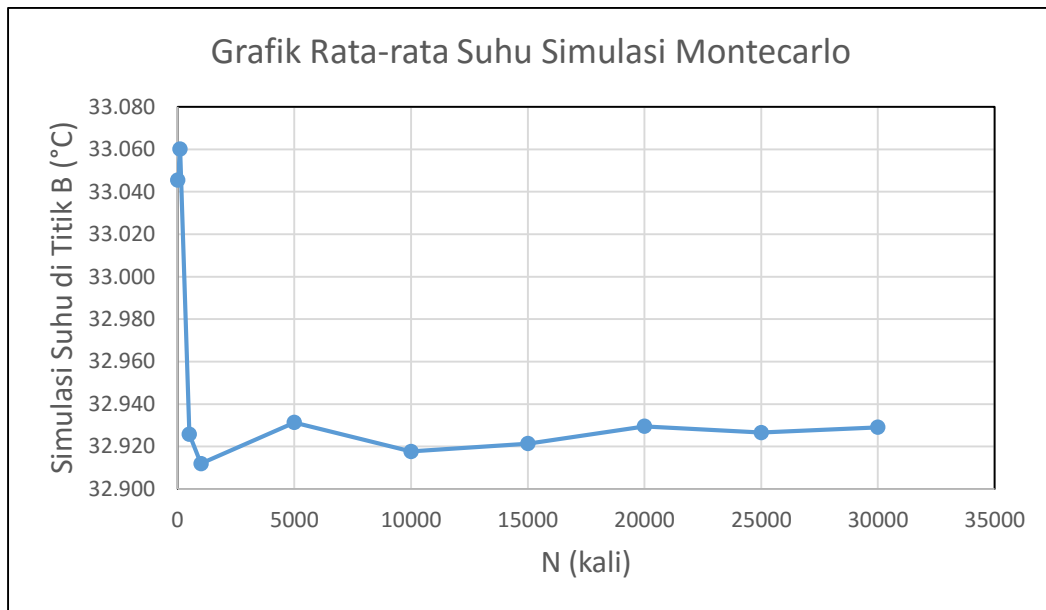
Titik A		Titik B	
Jumlah Simulasi (N)	Suhu Rata-rata (°C)	Jumlah Simulasi (N)	Suhu Rata-rata (°C)
10	33,596	10	33,046
100	33,798	100	33,060
500	33,764	500	32,926
1000	33,783	1000	32,912
5000	33,769	5000	32,931
10000	33,775	10000	32,918
15000	33,775	15000	32,921
20000	33,858	20000	32,930
25000	33,772	25000	32,927
30000	33,775	30000	32,927
35000	33,776	-	-
40000	33,771	-	-
45000	33,771	-	-

(b)

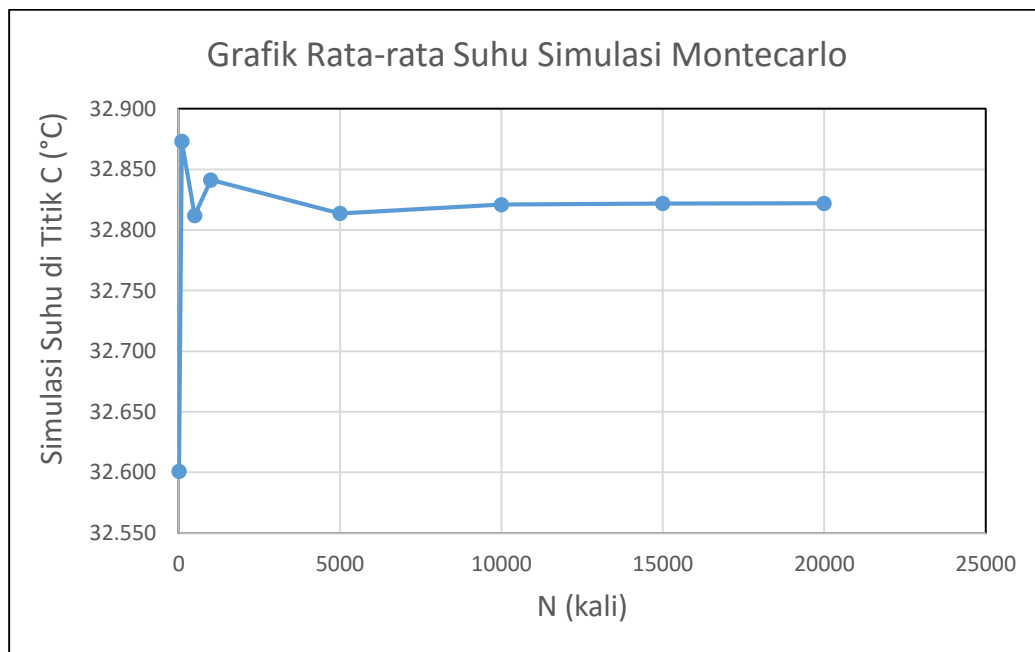
Titik C		Titik D	
Jumlah Simulasi (N)	Suhu Rata-rata (°C)	Jumlah Simulasi (N)	Suhu Rata-rata (°C)
10	32,601	10	34,893
100	32,873	100	34,876
500	32,812	500	34,890
1000	32,841	1000	34,831
5000	32,814	5000	34,871
10000	32,821	10000	34,859
15000	32,822	15000	34,863
20000	32,822	20000	34,875
-	-	25000	34,862
-	-	30000	34,873
-	-	35000	34,873



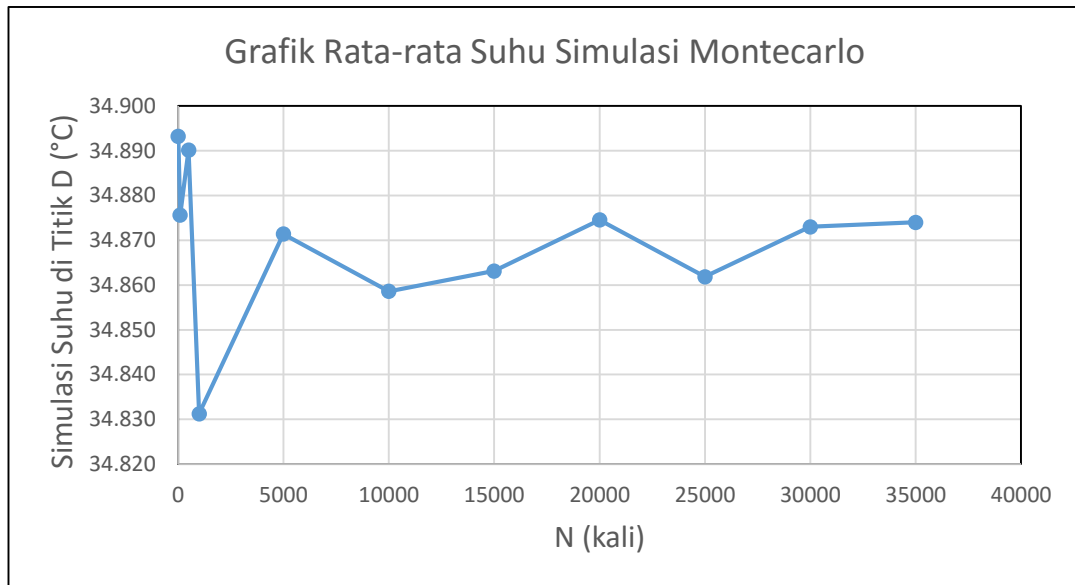
(a)



(b)



(c)



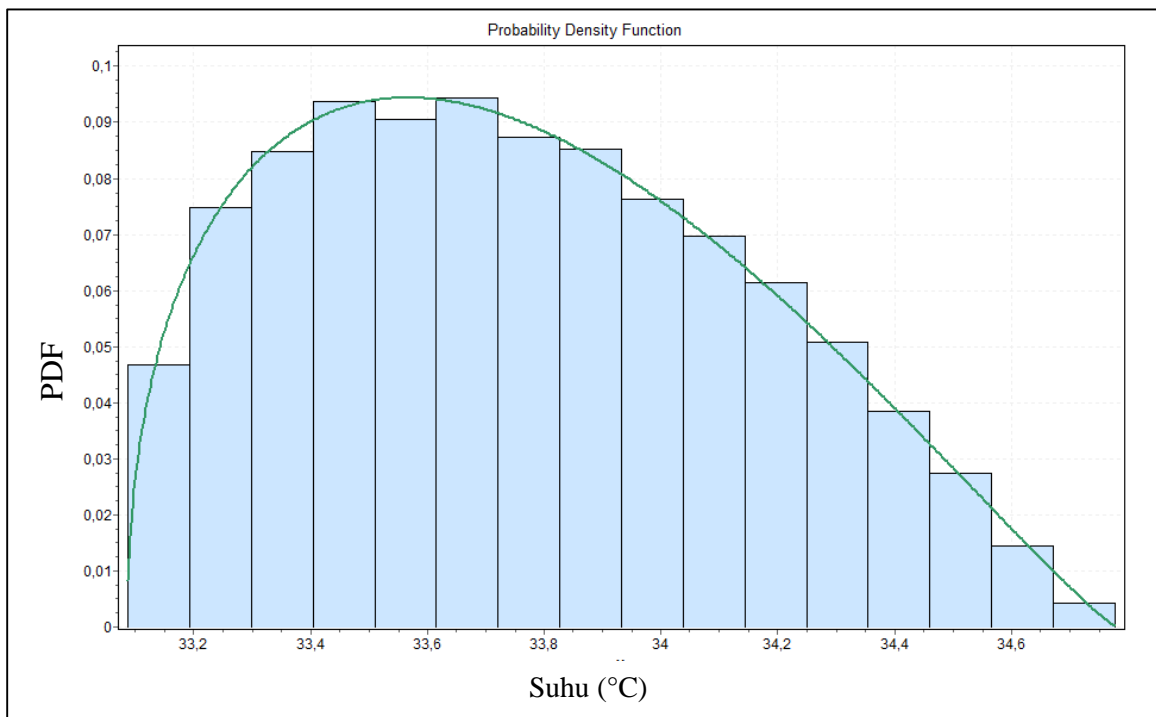
(d)

Gambar 4.22 Rata-Rata Suhu Simulasi
(a) Titik A, (b) Titik B, (c) Titik C (d) Titik D

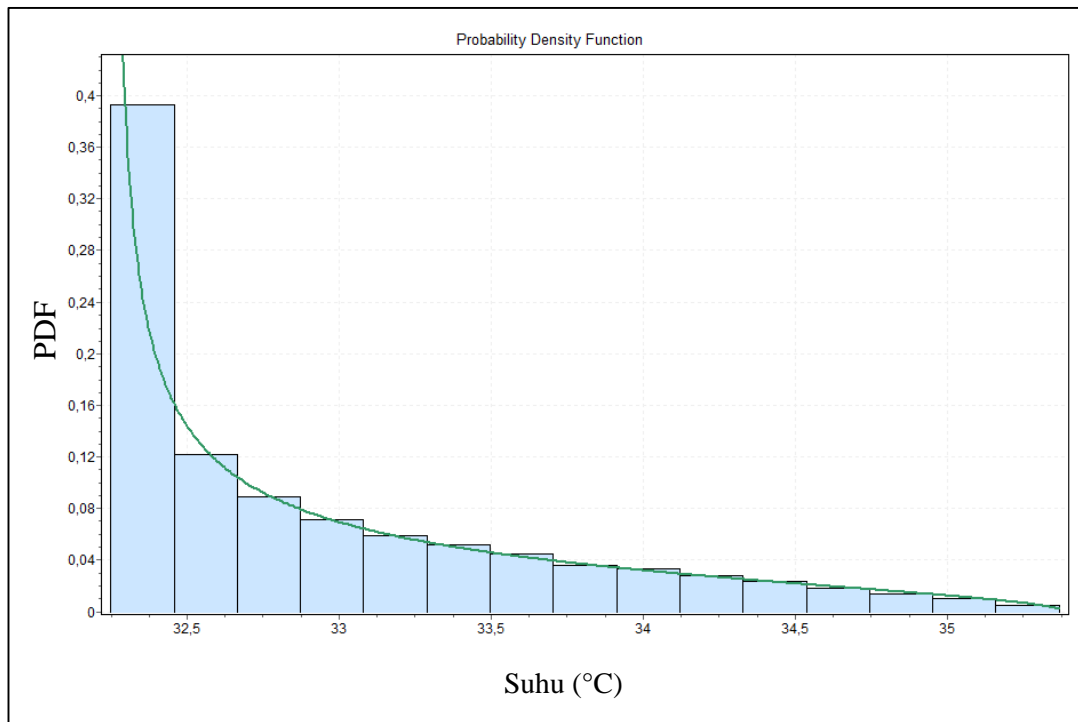
Setelah mendapatkan nilai suhu konstan selama N kali simulasi, maka data suhu dari N simulasi di sesuaikan dengan distribusi teoritis. Data suhu keempat titik tersebut membentuk distribusi Beta. Titik A menempatkan distribusi Beta pada peringkat ketiga, Titik B menempatkan pada peringkat pertama, Titik C menempatkan pada peringkat ketiga dan Titik D menempatkan pada peringkat ketiga. Perbedaan dari masing-masing distribusi di keempat titik tersebut terletak pada parameter yang dirinci seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 :

Tabel 4.9 Parameter Distribusi Beta pada Empat Titik

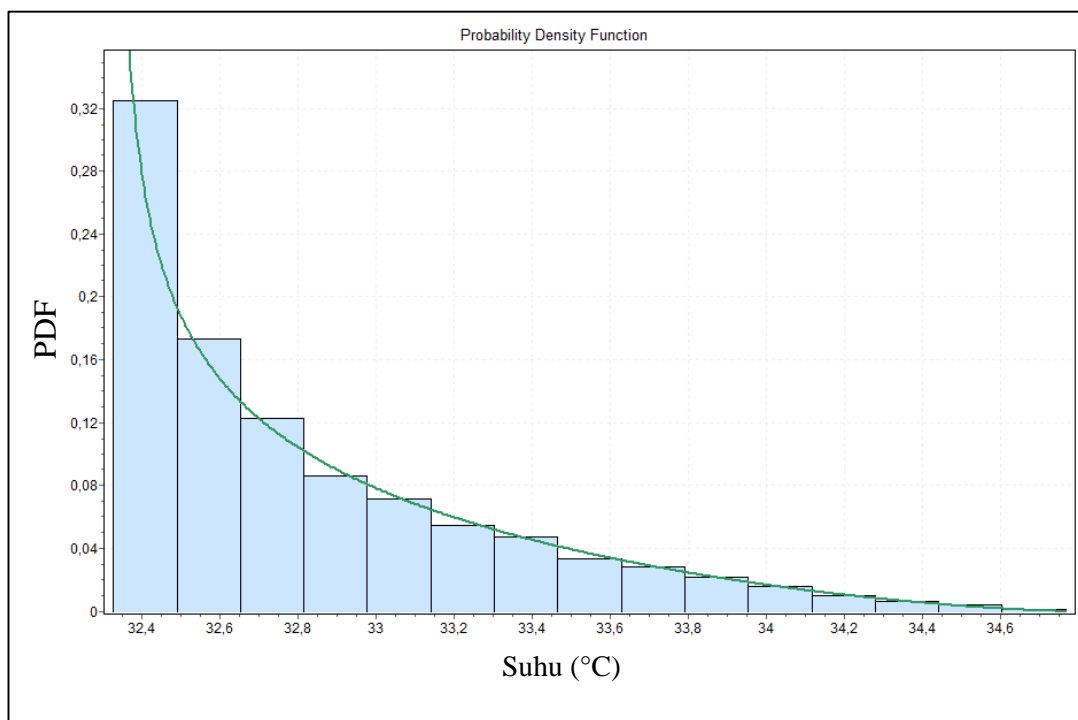
No	Titik A		Titik B		Titik C		Titik D	
	Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
1	α_1	1,457	α_1	0,427	α_1	0,617	α_1	1,154
2	α_2	2,156	α_2	1,531	α_2	2,432	α_2	2,090
3	a	33,087	a	32,250	a	32,328	a	33,592
4	b	34,780	b	35,380	b	34,768	b	37,221



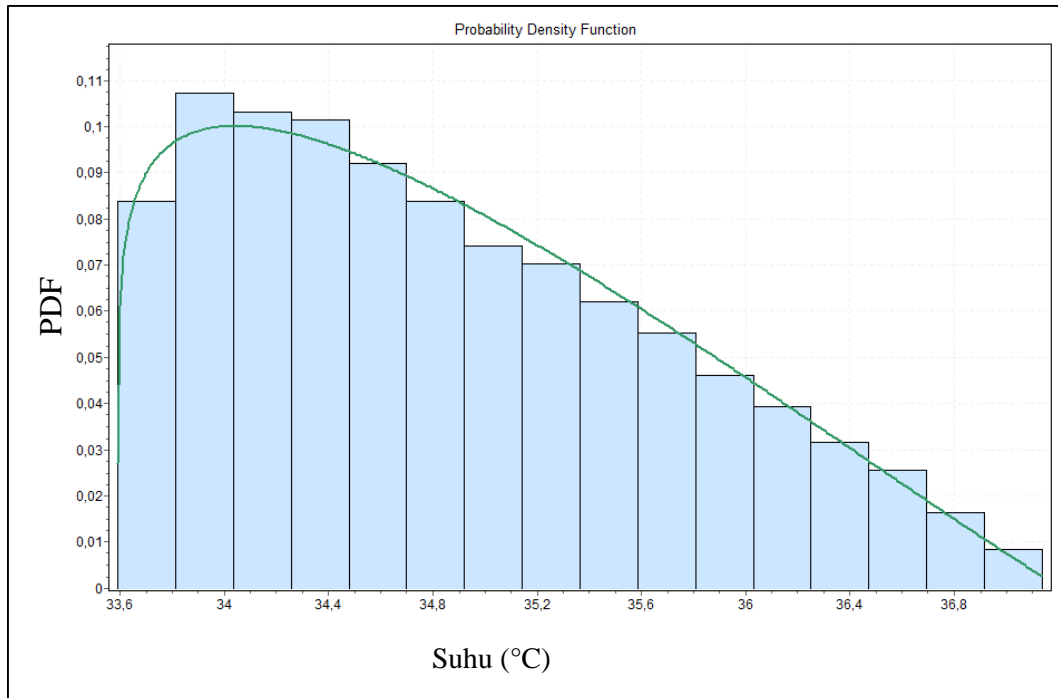
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.23 Distribusi Suhu pada Simulasi Montecarlo
(a) Titik A (b) Titik B (c) Titik C (d) Titik D

Tabel 4.10 Statistik Deskriptif Distribusi Simulasi Suhu

	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
Skewness	0.28	1.16	1.25	0.53
Kurtosis	-0.82	0.4	0.99	-0.65
Mean (°C)	33.77	32.93	32.82	34.87
Max (°C)	34.78	35.37	34.77	37.14
Min (°C)	33.09	32.25	32.33	33.59

Skewness atau disebut juga ukuran kemiringan yaitu suatu bilangan yang dapat menunjukkan miring atau tidaknya bentuk kurva suatu distribusi frekuensi. Skewness adalah derajat ketidaksimetrisan suatu distribusi. Jika kurva frekuensi suatu distribusi memiliki ekor yang lebih memanjang ke kanan (dilihat dari meannya) maka dikatakan menceng kanan (positif) dan jika sebaliknya maka menceng kiri (negatif).

Hasil analisa statistik deskriptif dari distribusi suhu di empat titik pengamatan ditunjukkan dalam Tabel 4.10. Nilai skewness Titik A 0,28, di Titik B 1,16, di Titik C 1,25, dan di Titik D 0,53. Nilai skewness dari keempat titik > 0 , yang artinya distribusi menceng positif ke kanan dengan kurva frekuensi distribusi memiliki ekor yang lebih memanjang ke kanan.

Ukuran keruncingan atau yang disebut juga kurtosis adalah suatu bilangan yang dapat menunjukan runcing tidaknya bentuk kurva distribusi frekuensi. Kurtosis adalah derajat keruncingan suatu distribusi (biasanya diukur relatif terhadap distribusi normal). Kurva yang lebih lebih runcing dari distribusi normal dinamakan leptokurtik, yang lebih datar platikurtik dan distribusi normal disebut mesokurtik. Kurtosis dihitung dari momen keempat terhadap mean. Distribusi normal memiliki kurtosis = 0 (*mesokurtis*), sementara distribusi yang *leptokurtis* biasanya kurtosisnya bernilai positif dan *platikurtis* bernilai negatif.

Nilai kurtosis di Titik A -0,28 dan di Titik D -0,65 menunjukkan nilai negative, yang artinya puncak relative rendah (*platikurtis*). Sedangkan Titik B dan C bernilai 0,4 dan 0,99 menunjukkan nilai positif, yang artinya puncak relative tinggi (*leptokurtis*).

Nilai rata-rata dari Titik A,B,C dan D berturut-turut adalah $33,77^{\circ}\text{C}$; $32,93^{\circ}\text{C}$; $32,82^{\circ}\text{C}$ dan $34,87^{\circ}\text{C}$. Nilai rata-rata tersebut jika dilihat dari grafik distribusi condong di sisi kiri. Ini artinya jika hanya diketahui nilai statistik deskriptif seperti nilai rata-rata suhunya saja, maka nilai suhu yang lebih tinggi dari suhu rata-rata tidak akan diketahui seberapa besar frekuensinya. Sedangkan rata-rata akan cenderung dekat dengan nilai frekuensi yang tinggi. Sebagai logikanya, seandainya jika ikan dapat hidup normal pada suhu $33,77^{\circ}\text{C}$, kalimat pernyataan dari statistik deskriptif di Titik A tersebut dapat diterima. Namun seandainya pada suhu $34,2^{\circ}\text{C}$ metabolisme ikan mulai terganggu, maka statistik deskriptif yang tidak mempunyai grafik probabilitas tidak dapat menjelaskan kondisi suhu yang tidak bisa diterima ikan. Dengan adanya grafik probabilitas ini, maka kita dapat mengetahui suhu yang tidak dapat diterima di lingkungan ikan seberapa frekuensi peluang kejadiannya. Tentunya hal ini bisa menjadi pertimbangan dalam penetapan baku mutu limbah, bahwa dengan maksimum suhu yang boleh dibuang melalui saluran pendingin perlu diturunkan dengan alasan persebaran suhu dari limbah tersebut masih mencapai

suhu yang tidak dapat ditolerir oleh kehidupan bawah laut. Untuk mengetahui suhu maksimum yang dapat diterima kehidupan bawah laut, tentunya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

LAMPIRAN I

OUTPUT PEMODELAN

20160630
185149

=====
Target: FemEngineHD

=====
Computing Environment

Computer name :
Number of processors: 4
=====

Section: TIME -----

start_time : 2013 10 5 0 0 0
time_step_interval : 3600
number_of_time_steps : 359

Section: DOMAIN -----

number_of_dimensions : 2
discretization : 2
number_of_meshes : 1
file_name : D:\TA\data 2013\meshing domain lebih besar.mesh
type_of_datum_depth : 1 (default)
datum_depth : 0
minimum_depth : -0.001112
thresshold_depth : -0.001112 (default)
type_of_mesh : 0
type_of_gauss : 3
mesh_debug : 0 (default)

=====
Mesh information

Number of elements : 1414
Number of faces : 2275
Number of nodes : 862
Number of sections : 7
Min x-coordinate : 780278.6
Max x-coordinate : 789191.832
Min y-coordinate : 9145481.74
Max y-coordinate : 9150428.63
Min z-coordinate : -35
Max z-coordinate : -0.001112
=====

=====
Boundary information

number	code	number of points	number of faces
1	1	237	234
2	2	14	13
3	3	17	16
4	4	16	15

5	5	12	11
6	6	17	16
7	7	4	3

write_boundary : 0 (default)

Section: MODULE_SELECTION -----

mode_of_hydrodynamic_module : 2
mode_of_transport_module : 0
mode_of_mud_transport_module : 0
mode_of_sand_transport_module : 0
mode_of_eco_lab_module : 0
mode_of_particle_tracking_module : 0

Section: HYDRODYNAMIC_MODULE -----

mode : 2

Section: EQUATION -----

formulation : 4
time_formulation : 2 (default)

Section: TIME -----

start_time_step : 0
time_step_factor : 1

Section: SPACE -----

number_of_2D_mesh_geometry : 1
number_of_2D_mesh_velocity : 1
number_of_2D_mesh_elevation : 1

Section: FLOOD_AND_DRY -----

type : 0

Section: DEPTH -----

type : 0 (default)

Section: DENSITY -----

type : 1
temperature_reference : 28
salinity_reference : 32

Section: EDDY_VISCOSITY -----

Section: HORIZONTAL_EDDY_VISCOSITY -----

type : 3

Section: SMAGORINSKY_FORMULATION -----

format : 0
constant_value : 0.28
minimum_eddy_viscosity : 0.000001
maximum_eddy_viscosity : 1.E+10

Section: BED_RESISTANCE -----
type : 3

Section: CHEZY_NUMBER -----
format : 0
constant_value : 32

Section: CORIOLIS -----
type : 1
latitude : -7.7145
coriolis_coefficient : -0.000019 (default)

Section: WIND_FORCING -----
type : 1
format : 1
file_name : D:\TA\data 2013\31 Mei 2016\data angin 2013 pake data wilda.dfs0
item_number_for_speed : 1
item_number_for_direction : 2

----- Data File Summary -----

Creator: MIKE Zero
File : D:\TA\data 2013\31 Mei 2016\data angin 2013 pake data wilda.dfs0
Title : data angin

Start date Start time Sets Interval Unit
2013-01-01 00:00:00 8760 3600 second

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
speed	Wind speed	0	9.85	knot
direction	Wind Direction	22.059999	381.799988	degree

type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0

Section: WIND_FRICTION -----
type : 0
constant_friction : 0.001255

Section: ICE -----
type : 0

Section: TIDAL_POTENTIAL -----
type : 0

Section: PRECIPITATION_EVAPORATION -----

type_of_precipitation : 0
type_of_evaporation : 0

Section: RADIATION_STRESS -----
type : 0

Section: SOURCES -----
number_of_sources : 2

Section: SOURCE_1 -----
include : 1
interpolation_type : 1
coordinate_type : PROJCS["UTM-49",GEOGCS["Unused",DATUM["UTM
Projections",SPHEROID["WGS
1984",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["Degree",0.017453292519943
3]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["False_Easting",500000],PARAMET
ER["False_Northing",0],PARAMETER["Central_Meridian",111],PARAMETER["Scale_Factor",
0.9996],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0],UNIT["Meter",1]]
coordinates : 785360.1 9146400
type : 1
format : 0
constant_value : -200
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SOURCE_2 -----
include : 1
interpolation_type : 1
coordinate_type : PROJCS["UTM-49",GEOGCS["Unused",DATUM["UTM
Projections",SPHEROID["WGS
1984",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["Degree",0.017453292519943
3]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["False_Easting",500000],PARAMET
ER["False_Northing",0],PARAMETER["Central_Meridian",111],PARAMETER["Scale_Factor",
0.9996],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0],UNIT["Meter",1]]
coordinates : 786440.75 9146200
type : 1
format : 0
constant_value : 200
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

===== Discrete nodal points =====

point	2D element	connec.	point	x	y
1	752	0		0.785360E+06	0.914640E+07
2	285	0		0.786441E+06	0.914620E+07

=====

Section: SOLUTION_TECHNIQUE -----

```

scheme_of_time_integration : 1
scheme_of_space_discretization_horizontal : 1
method_of_space_discretization_horizontal : 0
CFL_critical_HD : 0.8
dt_min_HD : 0.01
dt_max_HD : 3600
CFL_critical_AD : 0.8
dt_min_AD : 0.01
dt_max_AD : 3600
error_level : 0
maximum_number_of_errors : 200

```

Section: STRUCTURES -----

Section: INITIAL_CONDITIONS -----

```

type : 1
surface_elevation_constant : 0
u_velocity_constant : 0
v_velocity_constant : 0

```

Section: BOUNDARY_CONDITIONS -----

Section: CODE_1 -----

```

type : 1

```

Section: CODE_2 -----

```

type : 6
format : 1
file_name : D:\TA\domain lebih besar\laut kiri.dfs0
item_number : 1
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_coriolis_correction : 0
type_of_wind_correction : 0
type_of_pressure_correction : 1
type_of_radiation_stress_correction : 1

```

----- Data File Summary -----

Creator: MIKE Zero

File : D:\TA\domain lebih besar\laut kiri.dfs0

Title : Predicted tide level

Start date	Start time	Sets	Interval	Unit
2013-10-05	00:00:00	361	3600	second

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
laut kiri	Water Level	-0.001799	2.24431	meter

Section: CODE_3 -----

```

type : 6
format : 1
file_name : D:\TA\domain lebih besar\laut atas kiri.dfs0
item_number : 1
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_coriolis_correction : 0
type_of_wind_correction : 0
type_of_pressure_correction : 1
type_of_radiation_stress_correction : 1

```

----- Data File Summary -----

Creator: MIKE Zero
File : D:\TA\domain lebih besar\laut atas kiri.dfs0
Title : Predicted tide level

Start date Start time Sets Interval Unit
2013-10-05 00:00:00 361 3600 second

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
laut atas kiri	Water Level	-0.000939	2.29075	meter

Section: CODE_4 -----

```

type : 6
format : 1
file_name : D:\TA\domain lebih besar\laut kanan atas.dfs0
item_number : 1
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_coriolis_correction : 0
type_of_wind_correction : 0
type_of_pressure_correction : 1
type_of_radiation_stress_correction : 1

```

----- Data File Summary -----

Creator: MIKE Zero
File : D:\TA\domain lebih besar\laut kanan atas.dfs0
Title : Predicted tide level

Start date Start time Sets Interval Unit
2013-10-05 00:00:00 361 3600 second

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
laut kanan atas	Water Level	0	2.2485	meter

Section: CODE_5 -----

```

type : 6
format : 1
file_name : D:\TA\domain lebih besar\laut kanan.dfs0
item_number : 1

```

type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_coriolis_correction : 0
type_of_wind_correction : 0
type_of_pressure_correction : 1
type_of_radiation_stress_correction : 1

----- Data File Summary -----

Creator: MIKE Zero

File : D:\TA\domain lebih besar\laut kanan.dfs0

Title : Predicted tide level

Start date Start time Sets Interval Unit
2013-10-05 00:00:00 361 3600 second

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
laut kanan	Water Level	0	2.24611	meter

Section: CODE_6 -----

type : 7
format : 0
constant_value : -200
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_radiation_stress_correction : 1

Section: CODE_7 -----

type : 7
format : 0
constant_value : 200
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_radiation_stress_correction : 1

Section: TEMPERATURE_SALINITY_MODULE -----

temperature_mode : 2
salinity_mode : 2

Section: EQUATION -----

minimum_temperature : 28
maximum_temperature : 38
minimum_salinity : 30
maximum_salinity : 33

Section: TIME -----

Section: SPACE -----
number_of_2D_mesh_geometry : 1

Section: SOLUTION_TECHNIQUE -----
scheme_of_time_integration : 1
scheme_of_space_discretization_horizontal : 1
method_of_space_discretization_horizontal : 0
h_min : 0 (default)

Section: DIFFUSION -----

Section: HORIZONTAL_DIFFUSION -----
type : 1

Section: SCALED_EDDY_VISCOSITY -----
sigma : 1
minimum_diffusion : 0 (default)
maximum_diffusion : 1.E+10 (default)

Section: HEAT_EXCHANGE -----
type : 0

Section: SOURCES -----

Section: SOURCE_1 -----

Section: TEMPERATURE -----
type : 1
format : 0
constant_value : 31.5
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----
type : 1
format : 0
constant_value : 32
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SOURCE_2 -----

Section: TEMPERATURE -----

type : 1
format : 0
constant_value : 36
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----

type : 1
format : 0
constant_value : 30
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: INITIAL_CONDITIONS -----

Section: TEMPERATURE -----

type : 1
format : 0
constant_value : 10

Section: SALINITY -----

type : 1
format : 0
constant_value : 32

Section: BOUNDARY_CONDITIONS -----

Section: CODE_1 -----

Section: CODE_2 -----

Section: TEMPERATURE -----

type : 2
format : 0
constant_value : 32
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----

type : 2
format : 0
constant_value : 32

type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: CODE_3 -----

Section: TEMPERATURE -----
type : 2
format : 0
constant_value : 32
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----
type : 2
format : 0
constant_value : 31
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: CODE_4 -----

Section: TEMPERATURE -----
type : 2
format : 0
constant_value : 32
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----
type : 2
format : 0
constant_value : 31
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: CODE_5 -----

Section: TEMPERATURE -----
type : 2
format : 0

constant_value : 35
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----

type : 2
format : 0
constant_value : 32
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: CODE_6 -----

Section: TEMPERATURE -----

type : 2
format : 0
constant_value : 32.3
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----

type : 2
format : 0
constant_value : 31.6
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: CODE_7 -----

Section: TEMPERATURE -----

type : 2
format : 0
constant_value : 38
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 3
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: SALINITY -----

type : 2
format : 0
constant_value : 30
type_of_soft_start : 2

soft_time_interval : 3600
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: DECOUPLING -----
type : 0

Section: OUTPUTS -----
number_of_outputs : 2

Section: OUTPUT_1 -----
include : 1
file_name : D:\TA\data 2013\Juni 30 2016\point domain lebih besar.dfs0
title : point
type : 1
format : 0
delete_value : 1.E-35 (default)
flood_and_dry : 2
first_time_step : 0
last_time_step : 359
time_step_frequency : 1
number_of_variables : 0 (default)
interpolation_type : 2
interpolation_subtype : 1 (default)

Section: PARAMETERS_2D -----
SURFACE_ELEVATION : 1
STILL_WATER_DEPTH : 0
TOTAL_WATER_DEPTH : 0
U_VELOCITY : 0
V_VELOCITY : 0
P_FLUX : 0
Q_FLUX : 0
CURRENT_SPEED : 1
CURRENT_DIRECTION : 1
DENSITY : 0
TEMPERATURE : 1
SALINITY : 1
WIND_U_VELOCITY : 0
WIND_V_VELOCITY : 0
AIR_PRESSURE : 0
PRECIPITATION : 0
EVAPORATION : 0
DRAG_COEFFICIENT : 0
EDDY_VISCOSITY : 0
CFL_NUMBER : 0
coordinate_type : PROJCS["UTM-49",GEOGCS["Unused",DATUM["UTM
Projections",SPHEROID["WGS
1984",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["Degree",0.017453292519943
3]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["False_Easting",500000],PARAMET
ER["False_Northing",0],PARAMETER["Central_Meridian",111],PARAMETER["Scale_Factor",
0.9996],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0],UNIT["Meter",1]]
input_format : 1
number_of_points : 6

Section: POINT_1 -----
 name : Titik A
 x : 786591
 y : 9146460

Section: POINT_2 -----
 name : Titik B
 x : 786719
 y : 9146459

Section: POINT_3 -----
 name : MC
 x : 783939
 y : 9147940

Section: POINT_4 -----
 name : WD Timur
 x : 786792
 y : 9146329

Section: POINT_5 -----
 name : WD Barat
 x : 786340
 y : 9146520

Section: POINT_6 -----
 name : WI
 x : 785437
 y : 9146708

===== Point Output Information =====

Element	x (m)	y (m)	z (m)	code
854	0.78659100E+06	0.91464600E+07	-0.11710046E+02	0
797	0.78671900E+06	0.91464590E+07	-0.12275024E+02	0
571	0.78393900E+06	0.91479400E+07	-0.20023305E+01	0
450	0.78679200E+06	0.91463290E+07	-0.10361288E+02	0
834	0.78634000E+06	0.91465200E+07	-0.11432350E+02	0
564	0.78543700E+06	0.91467080E+07	-0.63753090E+01	0

=====

Section: OUTPUT_2 -----
 include : 1
 file_name : D:\TA\data 2013\Juni 30 2016\area domain lebih besar.dfsu
 title : area
 type : 1
 format : 2
 delete_value : 1.E-35 (default)

flood_and_dry : 2
first_time_step : 0
last_time_step : 359
time_step_frequency : 1
number_of_variables : 0 (default)
interpolation_type : 1

Section: PARAMETERS_2D -----

SURFACE_ELEVATION : 1
STILL_WATER_DEPTH : 0
TOTAL_WATER_DEPTH : 0
U_VELOCITY : 0
V_VELOCITY : 0
P_FLUX : 0
Q_FLUX : 0
CURRENT_SPEED : 1
CURRENT_DIRECTION : 1
DENSITY : 0
TEMPERATURE : 1
SALINITY : 1
WIND_U_VELOCITY : 0
WIND_V_VELOCITY : 0
AIR_PRESSURE : 0
PRECIPITATION : 0
EVAPORATION : 0
DRAG_COEFFICIENT : 0
EDDY_VISCOSITY : 0
CFL_NUMBER : 0

coordinate_type : PROJCS["UTM-49",GEOGCS["Unused",DATUM["UTM
Projections",SPHEROID["WGS
1984",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["Degree",0.017453292519943
3]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["False_Easting",500000],PARAMET
ER["False_Northing",0],PARAMETER["Central_Meridian",111],PARAMETER["Scale_Factor",
0.9996],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0],UNIT["Meter",1]]

Section: AREA -----

number_of_points : 4

Section: POINT_1 -----

x : 780189.467
y : 9145432.27

Section: POINT_2 -----

x : 780189.467
y : 9150478.10

Section: POINT_3 -----

x : 789280.965
y : 9150478.10

Section: POINT_4 -----

x : 789280.965

y : 9145432.27

===== COMPUTATION STARTED
=====

===== COMPUTATION ENDED
=====

===== Output Statistics =====

----- Data File Summary -----

Creator:

File : D:\TA\data 2013\Juni 30 2016\point domain lebih besar.dfs0

Title : point

Start date Start time Sets Interval Unit
2013-10-05 00:00:00 360 3600 second

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Titik A: Surface ele	Surface Elevation	0	2.28572	meter
Titik B: Surface ele	Surface Elevation	0	2.280664	meter
MC: Surface elevatio	Surface Elevation	0	2.30512	meter
WD Timur: Surface el	Surface Elevation	0	2.277193	meter
WD Barat: Surface el	Surface Elevation	0	2.288593	meter
WI: Surface elevatio	Surface Elevation	-0.002643	2.307171	meter
Titik A: Current spe	Current Speed	0	0.627823	m/s
Titik B: Current spe	Current Speed	0	0.789667	m/s
MC: Current speed	Current Speed	0	1.031798	m/s
WD Timur: Current sp	Current Speed	0	0.631425	m/s
WD Barat: Current sp	Current Speed	0	0.369011	m/s
WI: Current speed	Current Speed	0	0.551062	m/s
Titik A: Current dir	Current Direction	0.999931	359.733612	degree
Titik B: Current dir	Current Direction	13.871696	169.433228	degree
MC: Current directio	Current Direction	62.587616	357.25293	degree
WD Timur: Current di	Current Direction	44.504833	336.761292	degree
WD Barat: Current di	Current Direction	31.637665	333.282715	degree
WI: Current directio	Current Direction	90	167.890625	degree
Titik A: Temperature	Temperature	10	36.560768	degree Celsius
Titik B: Temperature	Temperature	10	35.628643	degree Celsius
MC: Temperature	Temperature	10	32	degree Celsius
WD Timur: Temperatur	Temperature	10	35.459332	degree Celsius
WD Barat: Temperatur	Temperature	10	35.362347	degree Celsius
WI: Temperature	Temperature	10	32.002827	degree Celsius
Titik A: Salinity	Salinity	30.089579	32	PSU
Titik B: Salinity	Salinity	30.280737	32	PSU
MC: Salinity	Salinity	31	32	PSU
WD Timur: Salinity	Salinity	30.315521	32	PSU
WD Barat: Salinity	Salinity	30.334061	32	PSU
WI: Salinity	Salinity	31.000004	32	PSU

----- Data File Summary -----

Creator:

File : D:\TA\data 2013\Juni 30 2016\area domain lebih besar.dfsu

Title : area

Start date Start time Sets Interval Unit
2013-10-05 00:00:00 360 3600 second

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Node id	Undefined	1	862	undefined
X-coord	Undefined	780278.6	789191.832	undefined
Y-coord	Undefined	9145481.74	9150428.63	undefined
Z-coord	Undefined	-35	-0.001112	undefined
Code	Undefined	0	7	undefined
Element id	Undefined	1	1414	undefined
Element type	Undefined	21	21	undefined
No of nodes	Undefined	3	3	undefined
Connectivity	Undefined	1	862	undefined

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Surface elevation	Surface Elevation	-0.225279	2.376662	meter
Current speed	Current Speed	0	3.746255	m/s
Current direction	Current Direction	0.006154	359.995575	degree
Temperature	Temperature	10	38	degree Celsius
Salinity	Salinity	30	32	PSU

===== Hydrodynamic Simulation Diagnostic =====

Shallow water equations

Number of time steps : 6669209
Minumum time step (s) : 0.092155
Maximum time step (s) : 0.221029
Average time step (s) : 0.193786

Transport equations

Number of time steps : 184603
Minumum time step (s) : 2.980791
Maximum time step (s) : 3600
Average time step (s) : 7.00097

===== Overall Timings =====

Task	CPU time	Elapsed time
Pre-processing	0.09	0.10
Calculation	7017.77	7058.54
Post-processing	3.20	34.50
Total	7026.62	7098.93

===== Hydrodynamic Simulation Timings =====		
Task	CPU time	Elapsed time
Update forcings	1282.95	1282.68
Solve Shallow Water eq.	3367.73	3388.48
Temperatur/Salinity Module	93.81	92.87
Update forcings	3.61	3.79
Solve Advection-Dispersion eq.	87.61	86.81
Other calculation	1.36	1.05
Turbulence Module	0.00	0.00
Update forcings	0.00	0.00
Solve Advection-Dispersion eq.	0.00	0.00
Other calculation	0.00	0.00
Other calculation	2031.88	2051.28
Total	7017.48	7058.25

Normal run completion

LAMPIRAN II

DATA PENGUKURAN KECEPATAN ARUS

Dan

DATA PASANG SURUT

Data Pengukuran Kecepatan Arus
Tanggal 6-7 Oktober 2013

No	Tanggal	jam	Kec.Arus (m/s)
1	6 oktober 2013	17:00	0,92
2		18:00	1,42
3		19:00	1,26
4		20:00	0,99
5		21:00	1,06
6		22:00	1,24
7		23:00	1,35
8		00:00	1,24
9	7 Oktober 2013	01:00	1,03
10		02:00	1,48
11		03:00	1,56
12		04:00	1,16
13		05:00	1,49
14		06:00	0,82
15		07:00	0,87
16		08:00	0,8
17		09:00	0,73
18		10:00	0,8
19		11:00	0,61
20		12:00	0,15
21		13:00	0,29
22		14:00	0,92
23		15:00	0,88
24		16:00	1,02
25		17:00	1,19

Data Validasi Kecepatan Arus

Pengukuran Kec. Arus (m/s)	Pemodelan Kec. Arus (m/s)
0,92	0,72
1,42	0,76
1,26	0,77
0,99	0,73
1,06	0,66
1,24	0,54
1,35	0,42
1,24	0,34
1,03	0,29
1,48	0,30
1,56	0,38
1,16	0,48
1,49	0,52
0,82	0,56
0,87	0,62
0,8	0,61
0,73	0,55
0,8	0,48
0,61	0,41
0,15	0,35
0,29	0,33
0,92	0,38
0,88	0,52
1,02	0,66
1,19	0,73

Data Pasang Surut
(Sumber : Global Tide Model)

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
1	05/10/2013	00:00	1,11	1,11	1,09	1,09
2		01:00	1,21	1,21	1,19	1,19
3		02:00	1,37	1,38	1,35	1,35
4		03:00	1,57	1,58	1,54	1,54
5		04:00	1,75	1,76	1,72	1,72
6		05:00	1,88	1,89	1,85	1,85
7		06:00	1,91	1,91	1,88	1,88
8		07:00	1,82	1,83	1,79	1,80
9		08:00	1,62	1,63	1,60	1,60
10		09:00	1,34	1,35	1,33	1,33
11		10:00	1,03	1,03	1,02	1,02
12		11:00	0,74	0,74	0,73	0,73
13		12:00	0,50	0,50	0,49	0,49
14		13:00	0,36	0,36	0,35	0,35
15		14:00	0,32	0,32	0,30	0,30
16		15:00	0,37	0,38	0,35	0,35
17		16:00	0,49	0,50	0,47	0,47
18		17:00	0,64	0,64	0,62	0,62
19		18:00	0,78	0,79	0,77	0,77
20		19:00	0,90	0,91	0,89	0,89
21		20:00	0,99	0,99	0,98	0,98
22		21:00	1,04	1,04	1,04	1,04
23		22:00	1,08	1,08	1,07	1,08
24		23:00	1,12	1,12	1,11	1,11
25	06/10/2013	00:00	1,18	1,18	1,17	1,17
26		01:00	1,27	1,28	1,25	1,25
27		02:00	1,38	1,39	1,36	1,36
28		03:00	1,50	1,51	1,47	1,47
29		04:00	1,61	1,62	1,57	1,57
30		05:00	1,67	1,68	1,64	1,64
31		06:00	1,68	1,69	1,65	1,65
32		07:00	1,62	1,63	1,60	1,60
33		08:00	1,50	1,50	1,48	1,49
34		09:00	1,33	1,33	1,32	1,33
35		10:00	1,14	1,14	1,14	1,14
36		11:00	0,96	0,96	0,95	0,95
37		12:00	0,80	0,80	0,79	0,79
38		13:00	0,68	0,68	0,66	0,66
39		14:00	0,61	0,61	0,59	0,59
40		15:00	0,58	0,59	0,55	0,55

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
41	06/10/2013	16:00	0,59	0,60	0,56	0,56
42		17:00	0,62	0,63	0,60	0,60
43		18:00	0,68	0,68	0,66	0,66
44		19:00	0,75	0,75	0,74	0,74
45		20:00	0,82	0,82	0,82	0,82
46		21:00	0,91	0,91	0,91	0,91
47		22:00	1,01	1,01	1,01	1,01
48		23:00	1,12	1,12	1,12	1,12
49	07/10/2013	00:00	1,24	1,24	1,23	1,23
50		01:00	1,35	1,35	1,33	1,33
51		02:00	1,44	1,45	1,41	1,41
52		03:00	1,50	1,51	1,47	1,47
53		04:00	1,53	1,54	1,49	1,49
54		05:00	1,51	1,52	1,47	1,47
55		06:00	1,45	1,46	1,42	1,43
56		07:00	1,37	1,38	1,35	1,35
57		08:00	1,28	1,28	1,27	1,27
58		09:00	1,18	1,18	1,18	1,18
59		10:00	1,10	1,10	1,10	1,10
60		11:00	1,04	1,04	1,03	1,04
61		12:00	0,99	0,99	0,98	0,98
62		13:00	0,95	0,95	0,93	0,93
63		14:00	0,90	0,91	0,88	0,88
64		15:00	0,85	0,86	0,82	0,82
65		16:00	0,80	0,81	0,77	0,77
66		17:00	0,74	0,75	0,71	0,71
67		18:00	0,69	0,70	0,67	0,67
68		19:00	0,68	0,68	0,67	0,67
69		20:00	0,71	0,71	0,71	0,71
70		21:00	0,79	0,79	0,79	0,79
71		22:00	0,92	0,92	0,93	0,93
72		23:00	1,08	1,08	1,09	1,09
73	08/10/2013	00:00	1,26	1,26	1,25	1,25
74		01:00	1,41	1,42	1,39	1,39
75		02:00	1,52	1,52	1,49	1,49
76		03:00	1,55	1,56	1,52	1,52
77		04:00	1,52	1,53	1,48	1,48
78		05:00	1,42	1,43	1,38	1,38
79		06:00	1,28	1,29	1,25	1,25
80		07:00	1,14	1,15	1,12	1,12

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
81	08/10/2013	08:00	1,02	1,02	1,01	1,01
82		09:00	0,95	0,95	0,95	0,95
83		10:00	0,93	0,93	0,94	0,94
84		11:00	0,97	0,97	0,97	0,97
85		12:00	1,03	1,03	1,03	1,03
86		13:00	1,10	1,10	1,08	1,09
87		14:00	1,13	1,14	1,11	1,11
88		15:00	1,12	1,13	1,09	1,09
89		16:00	1,05	1,06	1,01	1,01
90		17:00	0,94	0,95	0,91	0,91
91		18:00	0,82	0,82	0,79	0,79
92		19:00	0,72	0,72	0,70	0,70
93		20:00	0,68	0,68	0,67	0,67
94		21:00	0,72	0,71	0,72	0,72
95		22:00	0,84	0,84	0,85	0,85
96		23:00	1,03	1,03	1,04	1,04
97	09/10/2013	00:00	1,25	1,25	1,25	1,25
98		01:00	1,45	1,46	1,44	1,44
99		02:00	1,59	1,60	1,57	1,57
100		03:00	1,64	1,65	1,60	1,60
101		04:00	1,57	1,59	1,53	1,53
102		05:00	1,41	1,43	1,37	1,37
103		06:00	1,20	1,21	1,16	1,16
104		07:00	0,97	0,98	0,95	0,95
105		08:00	0,79	0,79	0,78	0,78
106		09:00	0,69	0,69	0,69	0,69
107		10:00	0,69	0,69	0,70	0,70
108		11:00	0,79	0,78	0,79	0,79
109		12:00	0,94	0,94	0,94	0,94
110		13:00	1,11	1,11	1,10	1,10
111		14:00	1,25	1,25	1,23	1,23
112		15:00	1,31	1,32	1,28	1,28
113		16:00	1,28	1,29	1,24	1,24
114		17:00	1,16	1,17	1,12	1,12
115		18:00	1,00	1,01	0,97	0,97
116		19:00	0,83	0,84	0,81	0,81
117		20:00	0,72	0,73	0,71	0,72
118		21:00	0,71	0,71	0,71	0,71
119		22:00	0,80	0,80	0,81	0,81
120		23:00	0,99	0,98	0,99	0,99

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
121	10/10/2013	00:00	1,23	1,23	1,23	1,23
122		01:00	1,48	1,48	1,47	1,47
123		02:00	1,66	1,66	1,63	1,64
124		03:00	1,73	1,74	1,69	1,69
125		04:00	1,66	1,68	1,62	1,62
126		05:00	1,47	1,49	1,43	1,43
127		06:00	1,20	1,21	1,16	1,16
128		07:00	0,89	0,90	0,87	0,87
129		08:00	0,63	0,64	0,62	0,62
130		09:00	0,47	0,47	0,47	0,47
131		10:00	0,44	0,44	0,45	0,45
132		11:00	0,55	0,55	0,56	0,56
133		12:00	0,75	0,75	0,76	0,76
134		13:00	1,00	1,00	1,00	1,00
135		14:00	1,23	1,24	1,22	1,22
136		15:00	1,38	1,39	1,36	1,36
137		16:00	1,42	1,43	1,39	1,39
138		17:00	1,35	1,36	1,31	1,31
139		18:00	1,19	1,20	1,15	1,15
140		19:00	0,99	1,00	0,97	0,97
141		20:00	0,83	0,84	0,82	0,82
142		21:00	0,76	0,76	0,75	0,76
143		22:00	0,81	0,80	0,81	0,81
144		23:00	0,97	0,97	0,98	0,98
145	11/10/2013	00:00	1,21	1,21	1,22	1,22
146		01:00	1,48	1,48	1,48	1,48
147		02:00	1,70	1,70	1,68	1,68
148		03:00	1,81	1,81	1,78	1,78
149		04:00	1,76	1,77	1,72	1,72
150		05:00	1,57	1,58	1,53	1,53
151		06:00	1,26	1,27	1,22	1,22
152		07:00	0,90	0,91	0,87	0,87
153		08:00	0,57	0,57	0,55	0,55
154		09:00	0,33	0,33	0,33	0,33
155		10:00	0,24	0,24	0,25	0,25
156		11:00	0,32	0,32	0,33	0,33
157		12:00	0,53	0,53	0,54	0,54
158		13:00	0,82	0,82	0,82	0,82
159		14:00	1,12	1,12	1,11	1,11
160		15:00	1,35	1,36	1,33	1,33

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
161	11/10/2013	16:00	1,47	1,48	1,44	1,44
162		17:00	1,45	1,46	1,42	1,42
163		18:00	1,33	1,34	1,29	1,29
164		19:00	1,14	1,15	1,11	1,11
165		20:00	0,96	0,97	0,94	0,94
166		21:00	0,85	0,85	0,84	0,84
167		22:00	0,85	0,85	0,85	0,85
168		23:00	0,99	0,98	0,99	0,99
169	12/10/2013	00:00	1,22	1,21	1,22	1,22
170		01:00	1,49	1,49	1,48	1,48
171		02:00	1,73	1,73	1,71	1,71
172		03:00	1,87	1,87	1,84	1,84
173		04:00	1,85	1,86	1,82	1,82
174		05:00	1,68	1,69	1,63	1,64
175		06:00	1,36	1,37	1,32	1,32
176		07:00	0,97	0,98	0,93	0,93
177		08:00	0,58	0,58	0,56	0,56
178		09:00	0,28	0,28	0,27	0,27
179		10:00	0,12	0,12	0,12	0,12
180		11:00	0,14	0,14	0,15	0,15
181		12:00	0,33	0,32	0,33	0,33
182		13:00	0,62	0,62	0,62	0,62
183		14:00	0,95	0,95	0,94	0,94
184		15:00	1,24	1,24	1,22	1,22
185		16:00	1,42	1,43	1,40	1,40
186		17:00	1,47	1,48	1,44	1,44
187		18:00	1,40	1,41	1,37	1,37
188		19:00	1,24	1,25	1,21	1,21
189		20:00	1,07	1,08	1,05	1,05
190		21:00	0,94	0,95	0,93	0,93
191		22:00	0,92	0,92	0,92	0,92
192		23:00	1,02	1,03	1,02	1,02
193	13/10/2013	00:00	1,23	1,23	1,23	1,23
194		01:00	1,50	1,50	1,49	1,49
195		02:00	1,75	1,75	1,74	1,74
196		03:00	1,91	1,92	1,89	1,89
197		04:00	1,93	1,94	1,89	1,90
198		05:00	1,77	1,78	1,74	1,74
199		06:00	1,47	1,48	1,43	1,43
200		07:00	1,06	1,07	1,03	1,03

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
201	13/10/2013	08:00	0,64	0,65	0,62	0,62
202		09:00	0,29	0,29	0,28	0,28
203		10:00	0,08	0,08	0,07	0,07
204		11:00	0,04	0,04	0,04	0,04
205		12:00	0,18	0,17	0,18	0,18
206		13:00	0,44	0,44	0,45	0,45
207		14:00	0,77	0,78	0,77	0,77
208		15:00	1,09	1,09	1,08	1,08
209		16:00	1,32	1,32	1,30	1,30
210		17:00	1,42	1,43	1,40	1,40
211		18:00	1,40	1,41	1,37	1,37
212		19:00	1,29	1,29	1,26	1,26
213		20:00	1,13	1,14	1,11	1,11
214		21:00	1,02	1,02	1,00	1,00
215		22:00	0,98	0,99	0,97	0,97
216		23:00	1,07	1,07	1,06	1,06
217	14/10/2013	00:00	1,26	1,26	1,25	1,26
218		01:00	1,52	1,52	1,51	1,51
219		02:00	1,77	1,78	1,75	1,76
220		03:00	1,95	1,96	1,92	1,93
221		04:00	1,99	2,00	1,96	1,96
222		05:00	1,86	1,87	1,82	1,82
223		06:00	1,57	1,58	1,53	1,54
224		07:00	1,17	1,18	1,14	1,14
225		08:00	0,73	0,74	0,71	0,71
226		09:00	0,35	0,35	0,34	0,34
227		10:00	0,09	0,09	0,08	0,08
228		11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
229		12:00	0,09	0,09	0,09	0,09
230		13:00	0,32	0,32	0,32	0,32
231		14:00	0,63	0,63	0,63	0,63
232		15:00	0,95	0,95	0,94	0,94
233		16:00	1,20	1,20	1,18	1,18
234		17:00	1,34	1,34	1,32	1,32
235		18:00	1,36	1,36	1,33	1,33
236		19:00	1,28	1,28	1,25	1,25
237		20:00	1,15	1,16	1,13	1,13
238		21:00	1,05	1,05	1,03	1,03
239		22:00	1,02	1,02	1,01	1,01
240		23:00	1,10	1,10	1,09	1,09

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
241	15/10/2013	00:00	1,28	1,28	1,27	1,27
242		01:00	1,53	1,54	1,52	1,52
243		02:00	1,79	1,79	1,77	1,77
244		03:00	1,98	1,98	1,95	1,95
245		04:00	2,04	2,04	2,01	2,01
246		05:00	1,93	1,94	1,90	1,90
247		06:00	1,66	1,67	1,63	1,63
248		07:00	1,27	1,28	1,25	1,25
249		08:00	0,84	0,84	0,81	0,82
250		09:00	0,43	0,43	0,42	0,42
251		10:00	0,14	0,14	0,13	0,13
252		11:00	0,01	0,01	0,00	0,00
253		12:00	0,05	0,05	0,05	0,05
254		13:00	0,24	0,24	0,24	0,24
255		14:00	0,53	0,53	0,52	0,52
256		15:00	0,84	0,84	0,82	0,82
257		16:00	1,09	1,10	1,07	1,08
258		17:00	1,25	1,25	1,23	1,23
259		18:00	1,29	1,30	1,27	1,27
260		19:00	1,24	1,24	1,22	1,22
261		20:00	1,13	1,14	1,12	1,12
262		21:00	1,04	1,05	1,03	1,03
263		22:00	1,02	1,02	1,01	1,01
264		23:00	1,10	1,10	1,09	1,09
265	16/10/2013	00:00	1,28	1,28	1,26	1,26
266		01:00	1,53	1,53	1,51	1,51
267		02:00	1,79	1,80	1,77	1,77
268		03:00	2,00	2,00	1,97	1,97
269		04:00	2,08	2,08	2,04	2,04
270		05:00	1,99	2,00	1,96	1,96
271		06:00	1,75	1,76	1,72	1,72
272		07:00	1,38	1,38	1,35	1,35
273		08:00	0,94	0,94	0,92	0,92
274		09:00	0,52	0,53	0,51	0,51
275		10:00	0,21	0,21	0,20	0,20
276		11:00	0,04	0,04	0,03	0,03
277		12:00	0,04	0,04	0,04	0,04
278		13:00	0,20	0,20	0,20	0,20
279		14:00	0,46	0,46	0,45	0,45
280		15:00	0,75	0,76	0,74	0,74

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
281	16/10/2013	16:00	1,01	1,01	0,99	0,99
282		17:00	1,18	1,18	1,16	1,16
283		18:00	1,23	1,24	1,22	1,22
284		19:00	1,20	1,20	1,18	1,18
285		20:00	1,11	1,11	1,10	1,10
286		21:00	1,02	1,02	1,01	1,01
287		22:00	1,00	1,00	0,99	0,99
288		23:00	1,07	1,07	1,06	1,06
289	17/10/2013	00:00	1,24	1,25	1,23	1,23
290		01:00	1,49	1,50	1,47	1,47
291		02:00	1,76	1,77	1,74	1,74
292		03:00	1,99	1,99	1,95	1,95
293		04:00	2,09	2,10	2,06	2,06
294		05:00	2,04	2,05	2,01	2,01
295		06:00	1,83	1,84	1,80	1,80
296		07:00	1,48	1,48	1,45	1,46
297		08:00	1,05	1,06	1,03	1,04
298		09:00	0,63	0,63	0,62	0,62
299		10:00	0,29	0,29	0,29	0,29
300		11:00	0,09	0,09	0,09	0,09
301		12:00	0,06	0,06	0,05	0,05
302		13:00	0,18	0,18	0,17	0,17
303		14:00	0,41	0,42	0,40	0,40
304		15:00	0,69	0,70	0,67	0,67
305		16:00	0,94	0,95	0,92	0,92
306		17:00	1,12	1,13	1,10	1,10
307		18:00	1,19	1,20	1,18	1,18
308		19:00	1,17	1,17	1,16	1,16
309		20:00	1,09	1,09	1,08	1,08
310		21:00	1,00	1,00	1,00	1,00
311		22:00	0,97	0,97	0,97	0,97
312		23:00	1,03	1,03	1,02	1,02
313	18/10/2013	00:00	1,19	1,19	1,17	1,18
314		01:00	1,43	1,43	1,41	1,41
315		02:00	1,70	1,71	1,67	1,67
316		03:00	1,94	1,95	1,90	1,90
317		04:00	2,07	2,08	2,04	2,04
318		05:00	2,06	2,07	2,03	2,03
319		06:00	1,89	1,90	1,86	1,86
320		07:00	1,58	1,58	1,55	1,55

No	Tanggal	Jam	Pasut 1 (m)	Pasut 2 (m)	Pasut 3 (m)	Pasut 4 (m)
321	18/10/2013	08:00	1,17	1,18	1,16	1,16
322		09:00	0,76	0,76	0,75	0,75
323		10:00	0,40	0,40	0,40	0,40
324		11:00	0,17	0,17	0,17	0,17
325		12:00	0,10	0,10	0,09	0,09
326		13:00	0,18	0,18	0,17	0,17
327		14:00	0,38	0,38	0,36	0,36
328		15:00	0,63	0,64	0,61	0,61
329		16:00	0,89	0,89	0,86	0,86
330		17:00	1,07	1,08	1,05	1,05
331		18:00	1,16	1,17	1,14	1,14
332		19:00	1,16	1,16	1,15	1,15
333		20:00	1,09	1,09	1,08	1,09
334		21:00	1,01	1,01	1,01	1,01
335		22:00	0,96	0,96	0,96	0,96
336		23:00	0,99	0,99	0,99	0,99
337	19/10/2013	00:00	1,13	1,13	1,12	1,12
338		01:00	1,34	1,35	1,32	1,32
339		02:00	1,60	1,61	1,57	1,57
340		03:00	1,84	1,85	1,81	1,81
341		04:00	2,00	2,02	1,96	1,97
342		05:00	2,04	2,05	2,00	2,00
343		06:00	1,92	1,92	1,88	1,88
344		07:00	1,65	1,66	1,63	1,63
345		08:00	1,29	1,29	1,27	1,28
346		09:00	0,90	0,90	0,89	0,89
347		10:00	0,54	0,54	0,54	0,54
348		11:00	0,29	0,28	0,29	0,29
349		12:00	0,17	0,17	0,17	0,17
350		13:00	0,20	0,21	0,20	0,20
351		14:00	0,36	0,36	0,34	0,34
352		15:00	0,58	0,59	0,56	0,56
353		16:00	0,82	0,83	0,80	0,80
354		17:00	1,02	1,02	0,99	0,99
355		18:00	1,13	1,14	1,11	1,11
356		19:00	1,15	1,16	1,14	1,14
357		20:00	1,11	1,11	1,10	1,10
358		21:00	1,04	1,04	1,03	1,04
359		22:00	0,99	0,98	0,99	0,99
360		23:00	0,99	0,99	0,99	0,99

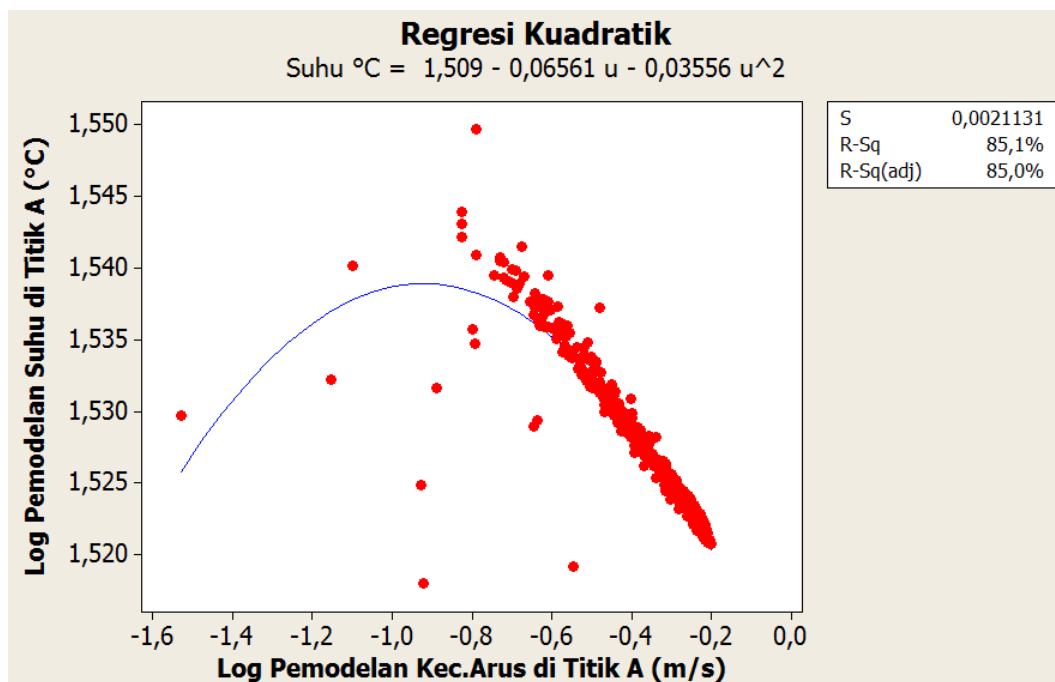
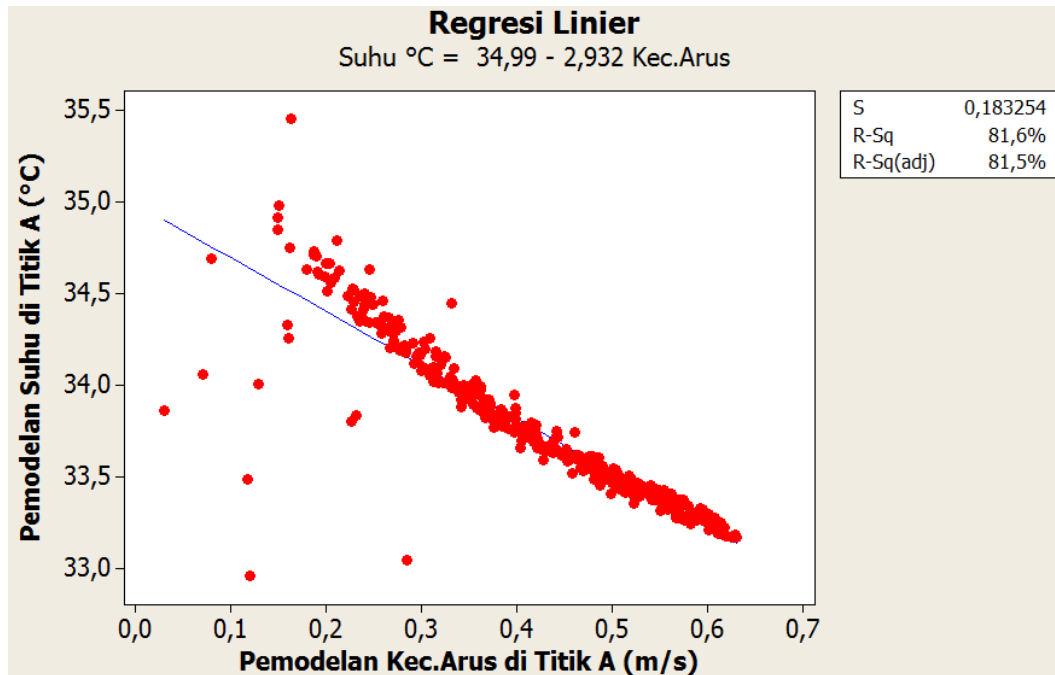
LAMPIRAN III

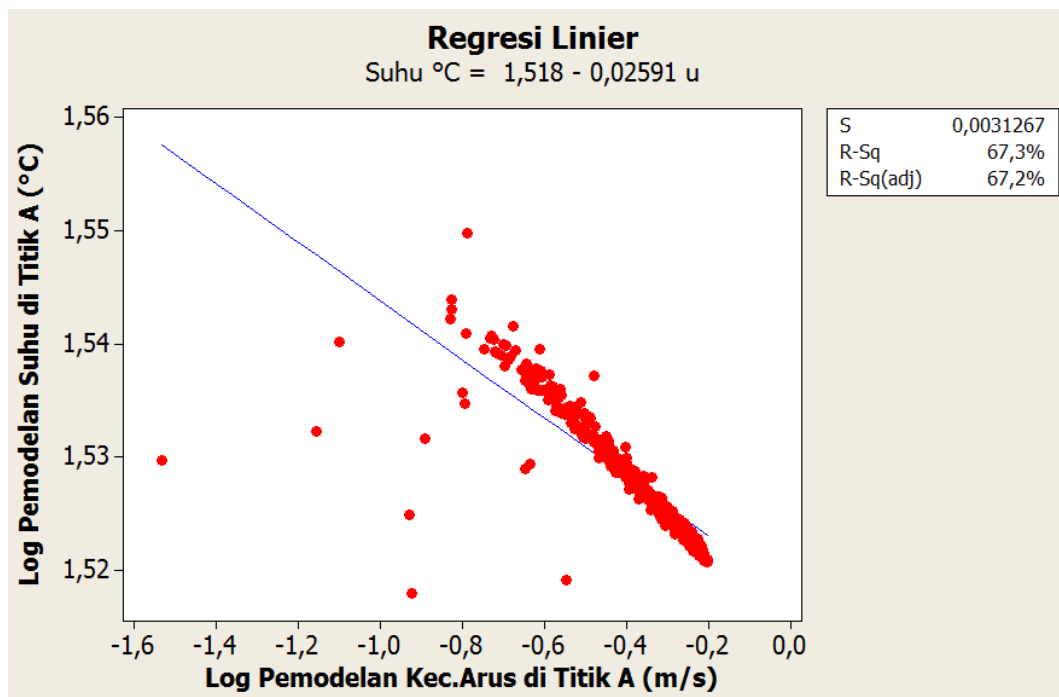
PERFORMANCE FUNCTION

dan

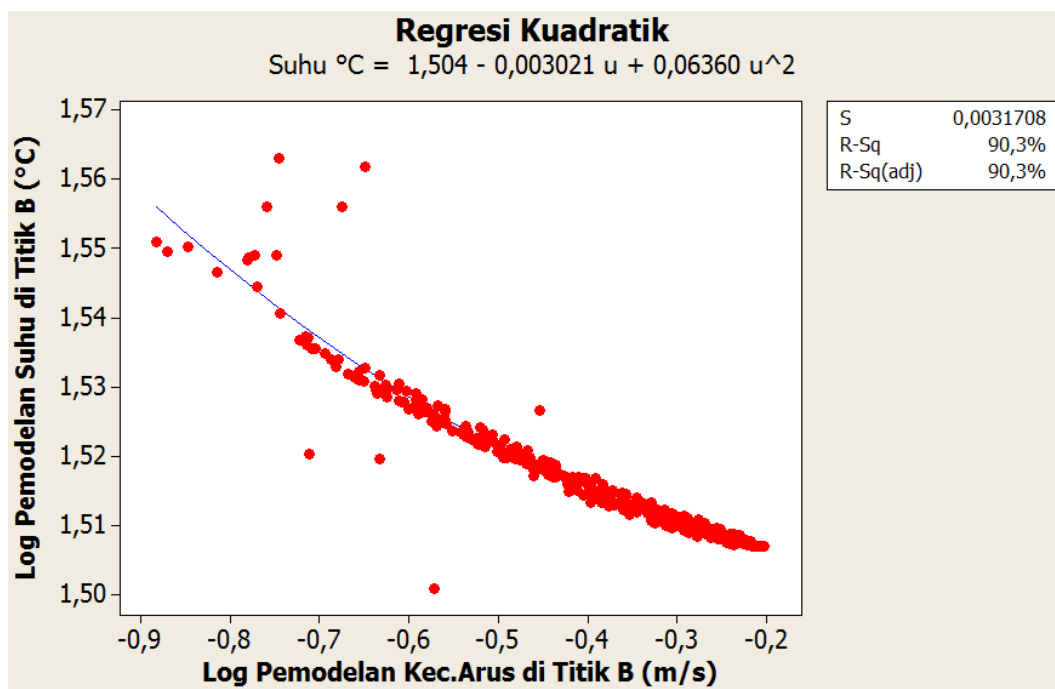
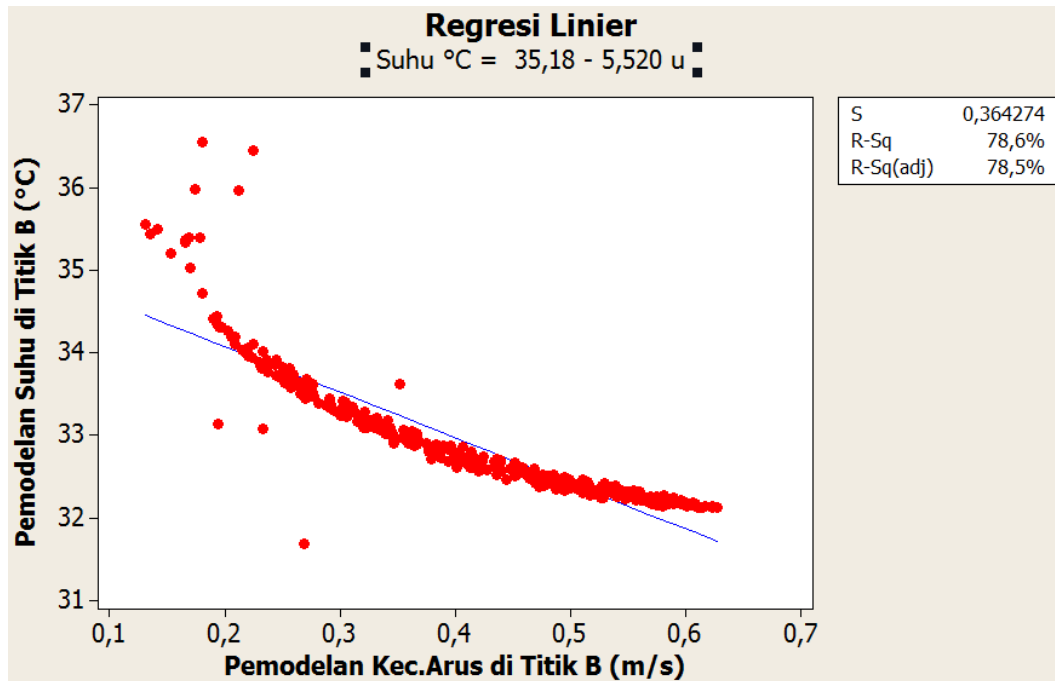
DISTRIBUSI KECEPATAN ARUS

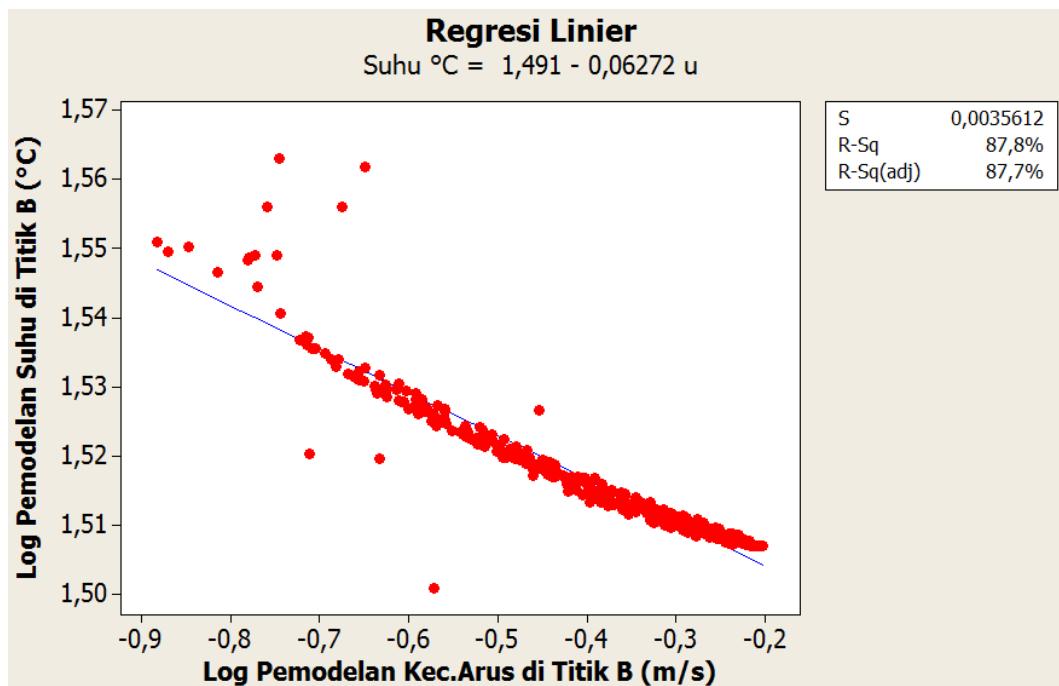
PERFORMANCE FUNCTION TITIK A



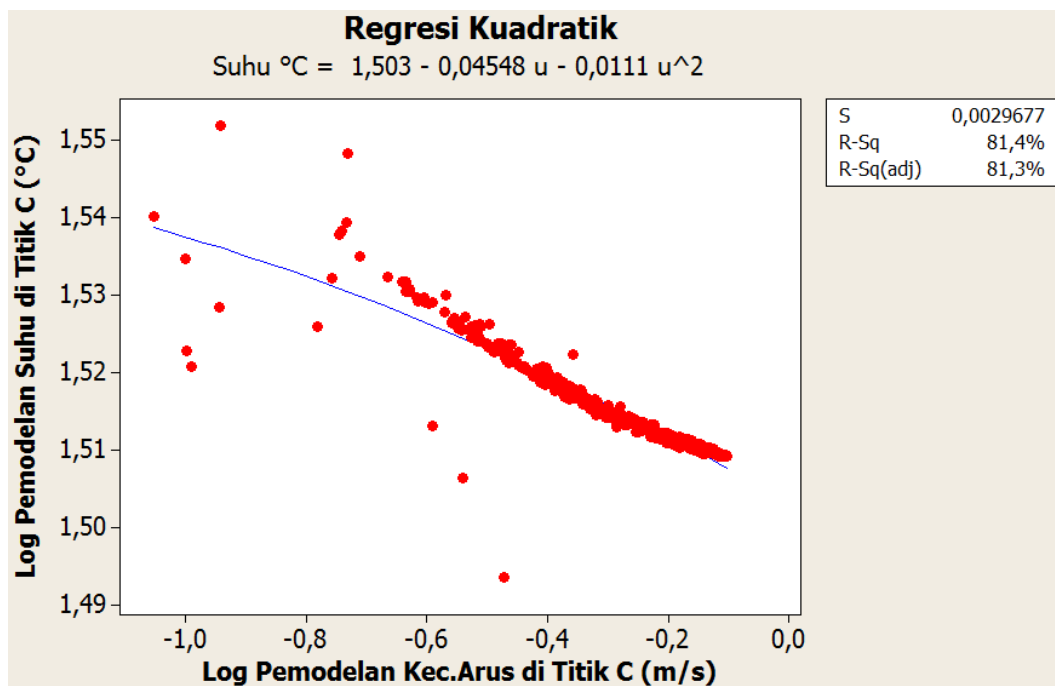
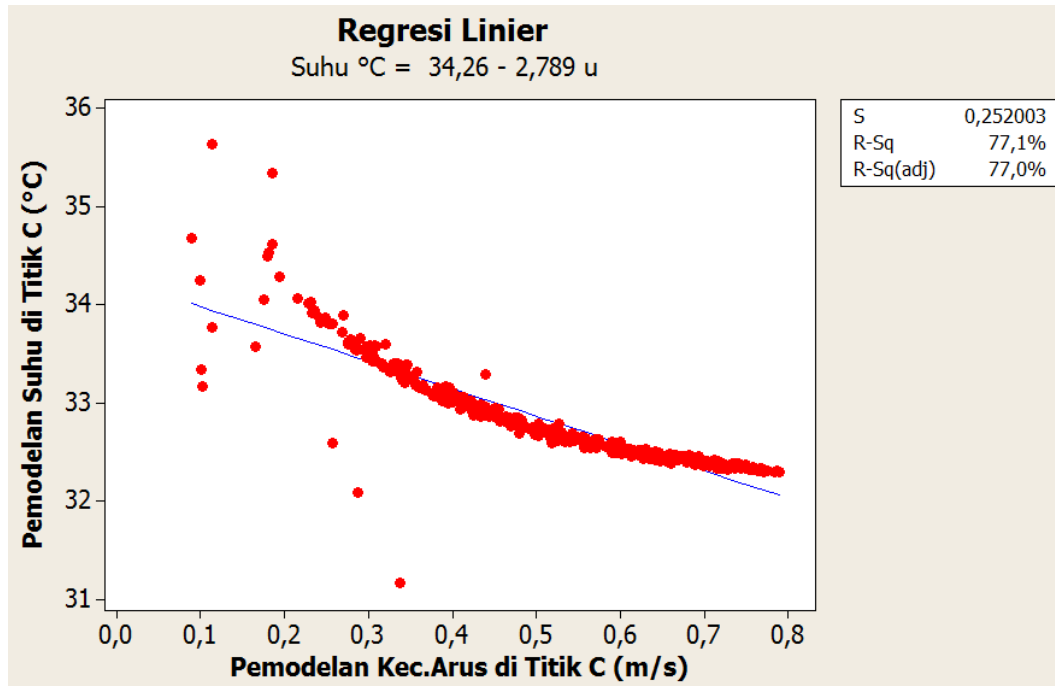


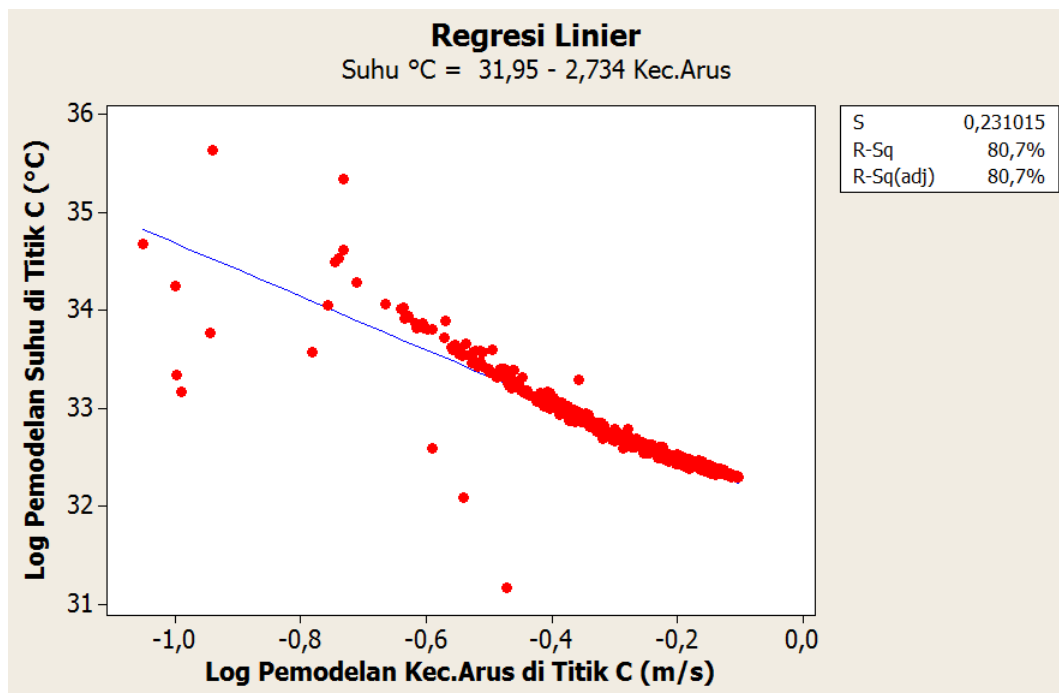
PERFORMANCE FUNCTION TITIK B



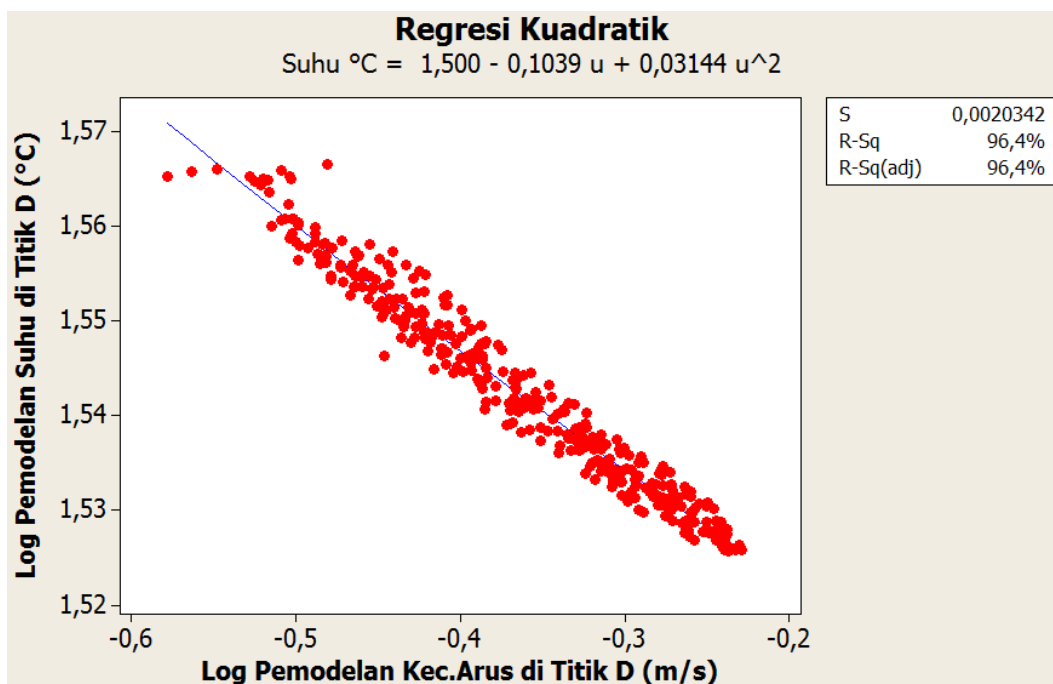
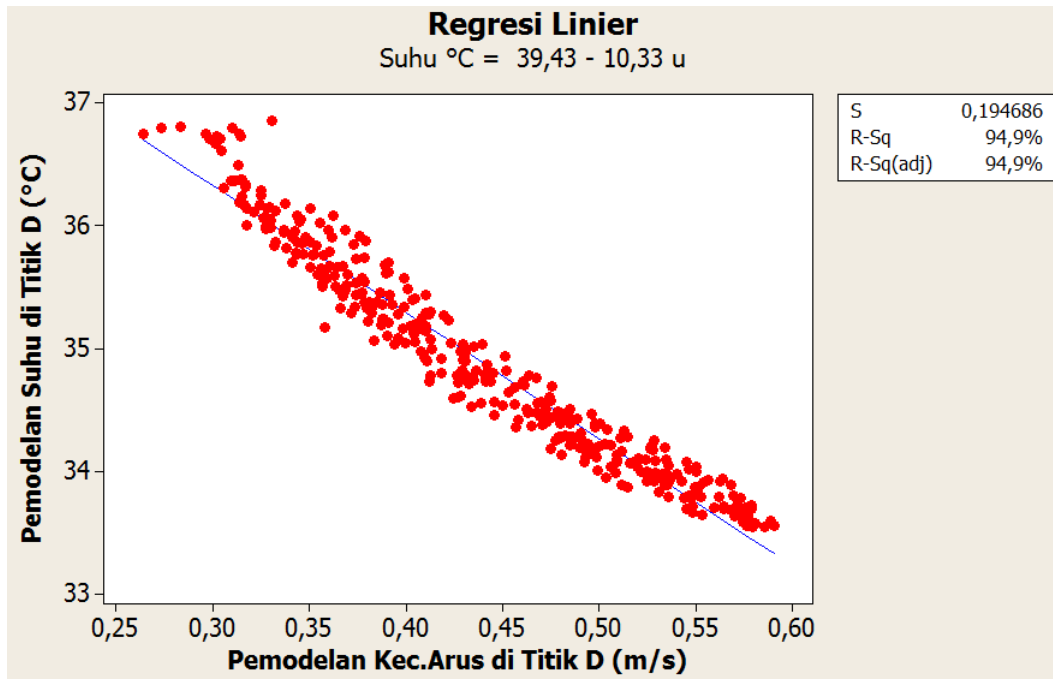


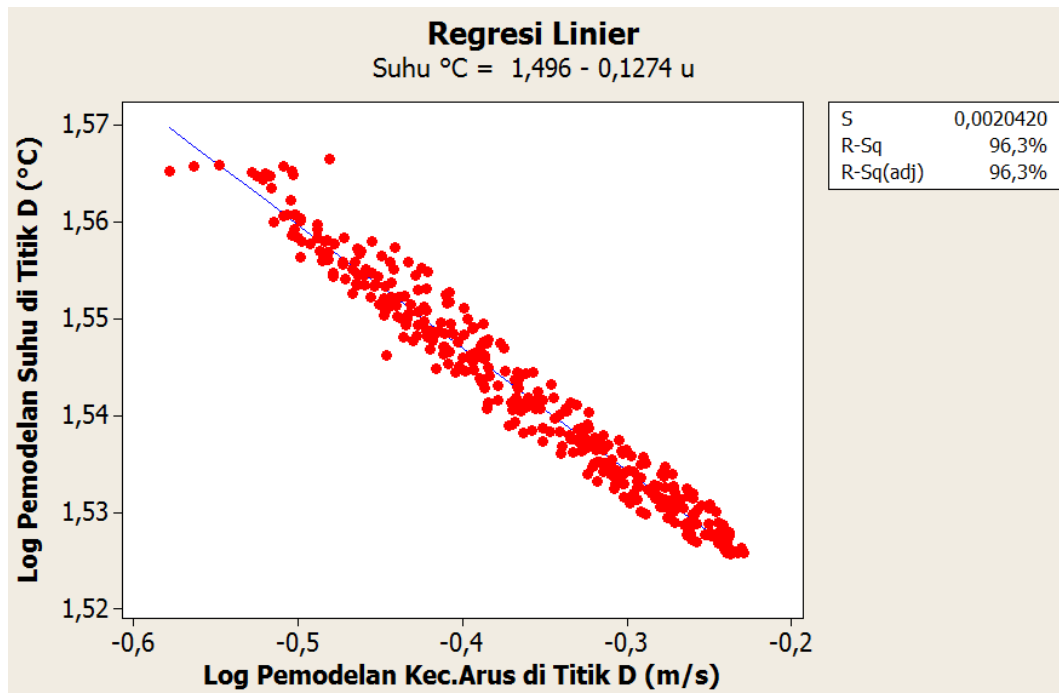
PERFORMANCE FUNCTION TITIK C





PERFORMANCE FUNCTION TITIK D

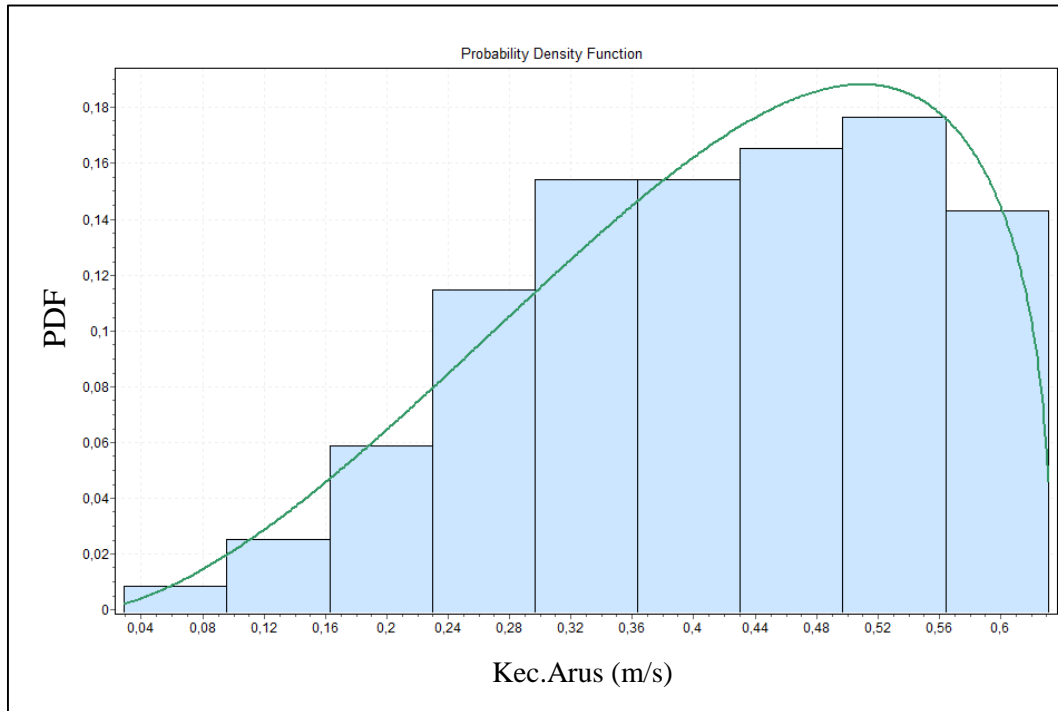




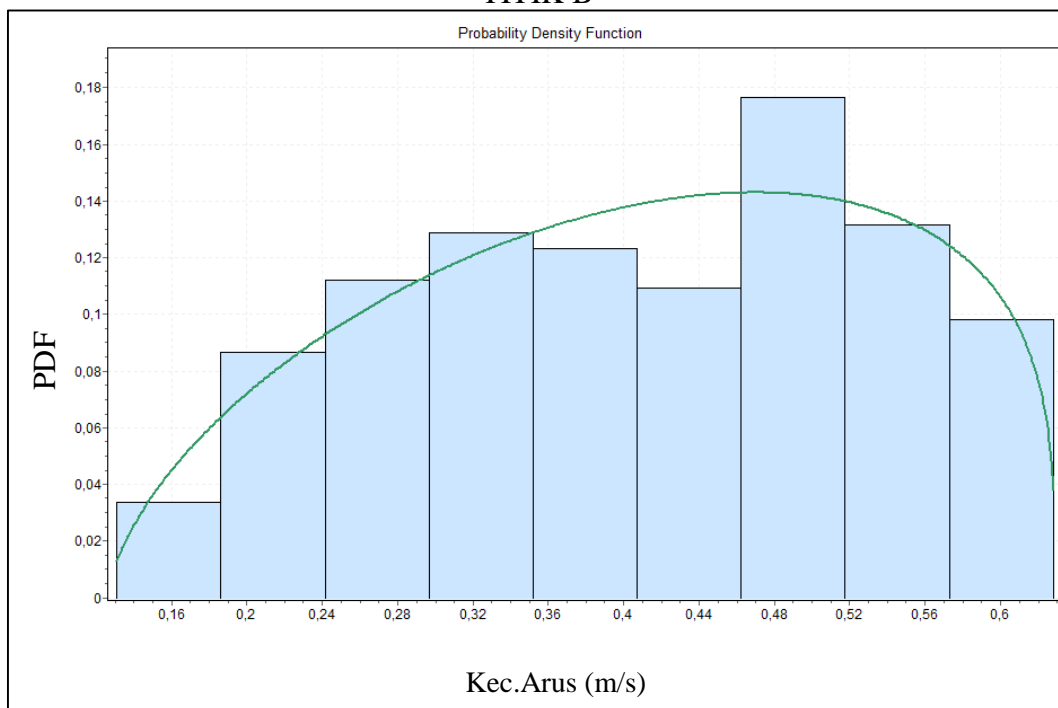
DISTRIBUSI BETA

KECEPATAN ARUS

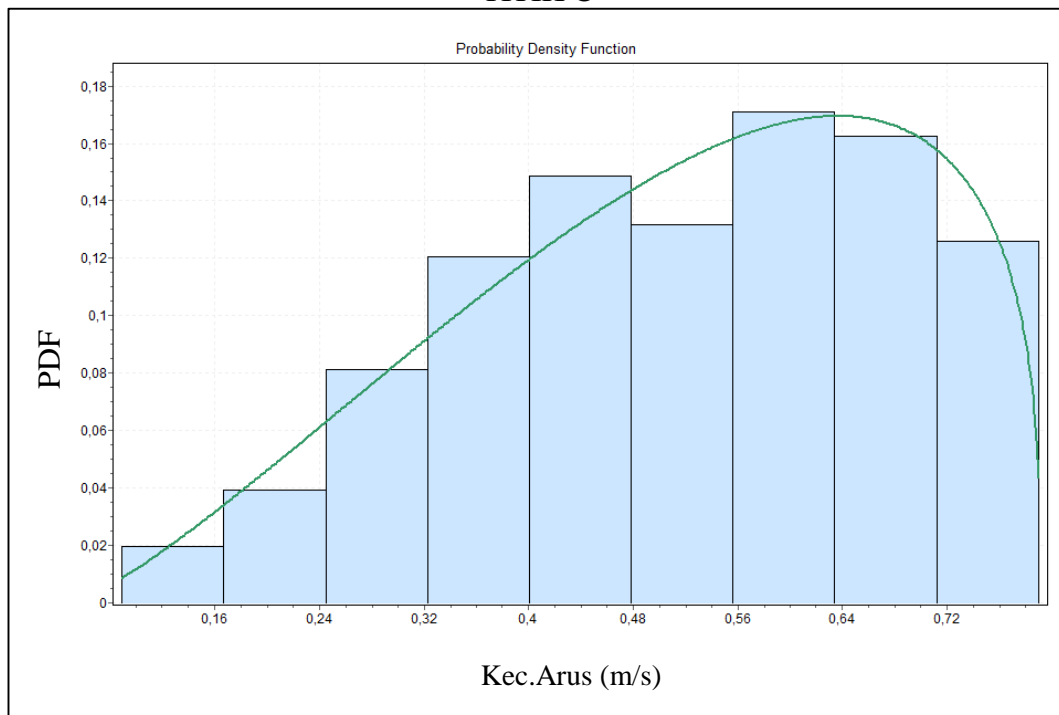
TITIK A



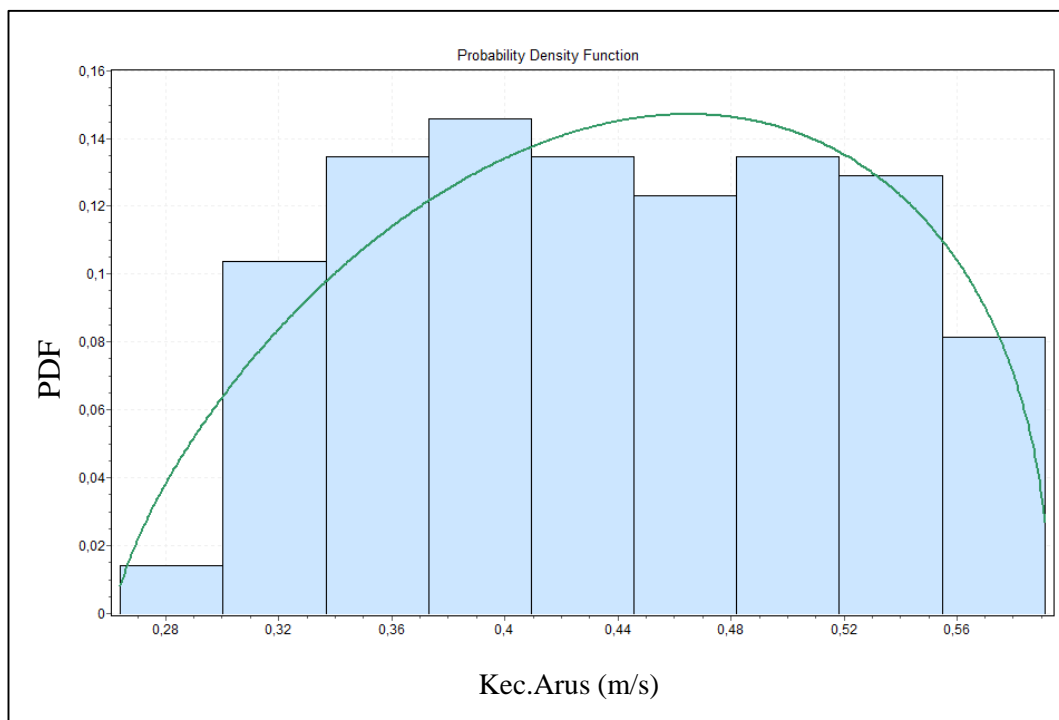
TITIK B



TITIK C



TITIK D



BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemodelan pola penyebaran limbah panas studi kasus Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton dengan menggunakan modul Hidrodinamika, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Pola arus di sekitar pembuangan air bahang PLTU Paiton telah dimodelkan menggunakan software MIKE 21 dengan eror sebesar 25,4% dan telah divalidasi dengan data pengukuran arus. Berdasarkan simulasi tersebut arah arus dipengaruhi oleh arah angin, yaitu dominan ke arah tenggara. Kecepatan arus rata-rata di sebelah timur water discharge sebesar 0,41 m/s dan maksimum 0,63 m/s. Sedangkan kecepatan arus rata-rata di titik pengukuran arus sebesar 0,789 m/s dan maksimum 0,513 m/s. Kecepatan arus tersebut membentuk pola distribusi Beta.
2. Pola persebaran limbah air panas di sekitar pembuangan air bahang PLTU Paiton telah dimodelkan menggunakan software MIKE 21 dengan eror sebesar 2,18% dan telah divalidasi dengan data pengukuran suhu. Pola penyebaran limbah cenderung meluas ke arah kanan/timur water discharge yang dipengaruhi oleh arah dan kecepatan arus. Pada jarak ± 400 m sebelah kanan water discharge, suhu tertinggi sebesar 35,46°C dan suhu rata-rata sebesar 33,68°C.
3. Probabilitas suhu di Titik A, B, C dan D membentuk jenis distribusi Beta. Nilai skewness di Titik A, Titik B, Titik C dan Titik D berturut-turut adalah 0,28 ; 1,16 ; 1,25 dan 0,53. Nilai skewness keempat titik menunjukkan angka positif yang berarti distribusi menceng positif ke kanan dengan kurva frekuensi distribusi memiliki ekor yang lebih memanjang ke kanan. Sedangkan nilai kurtosis di Titik A, Titik B, Titik C dan Titik D berturut-turut adalah -0,28 ; 0,4 ; 0,99 dan -0,65. Nilai kurtosis di Titik A dan D bernilai negative, yang artinya puncak relative rendah (platikurtis). Nilai kurtosis di B dan C bernilai positif, yang artinya puncak relative tinggi (leptokurtis). Nilai rata-rata suhu di Titik A,B,C dan D berturut-turut adalah

33,77°C ; 32,93 °C ; 32,82 °C dan 34,87 °C. Nilai tersebut berada di sisi sebelah kiri grafik distribusi, yang artinya masih terdapat frekuensi suhu yang lebih tinggi di sebelah kanan grafik distribusi.

4. Dengan adanya grafik probabilitas suhu maka dapat diketahui frekuensi suhu yang berada diatas suhu rata-rata, sehingga pertimbangan untuk penetapan nilai maksimum suhu buangan limbah dapat didasarkan pada grafik probabilitas suhu, tidak hanya didasarkan nilai suhu rata-ratanya saja.

5.2 SARAN

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan parameter pemodelan dan variabel pengaruh suhu yang lebih detail.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan ada data koefisien heat exchange, sehingga pemodelan menghasilkan nilai validasi suhu yang lebih baik, mengingat pada pemodelan ini faktor heat exchange diabaikan.
3. Pada pemodelan selanjutnya lebih baik menggunakan data flowrate dan suhu limbah panas yang variatif terhadap waktu, mengingat dalam pemodelan kali ini menggunakan nilai konstan.
4. Pada Penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisa probabilitas persebaran suhu saat angin muson timur, berhubung yang dianalisa pada tugas akhir ini saat angin muson barat.
5. Perlu dilakukan penelitian yang menghubungkan antara nilai probabilitas suhu dengan suhu optimal untuk kehidupan bawah laut, sehingga diketahui berapa persen peluang suhu yang dapat merusak kehidupan bawah laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbot, M.B., H.M. Petersen and O.Skovgard. 1978. On the Numerical modelling of Short Waves in Shallow Water. *Journal of Hydraulic Research*, 16 (3).
- Aribowo dan Amalia. 2013. Sistem Pendingin Generator PT Indonesia Power UBP Suralaya Menggunakan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Setrum*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten
- Anam, Choirul. 2014. *Studi Pola Sebaran Panas Air Pendingin di PT Pembangkit Jawa-Bali Unit Pembangkit Gresik (PT PJB UP Gresik)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Bernawis, Lamona I. 2000. Temperature and Pressure Responses on El-Nino 1997 and La-Nina 1998 in Lombok Strait. Proc. The JSPS-DGHE I
- DHI. 2007. *Mike 21 Flow Model and Mike 3 PA/SA*. Denmark : DHI Software.
- Fudlailah, Pratiwi, Mukhtasor dan Muhammad Zikra. 2013. Pemodelan Penyebaran Limbah Panas di Wilayah Pesisir (Studi Kasus Outfall PLTU Paiton). *Jurnal Teknik Kelautan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Gross, M. 1990. Oceanography sixth edition. New Jersey : Prentice-Hall.Inc.
- Harinaldi. 2005. Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 08 Tahun 2009. *Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pembangkitan Listrik Tenaga Termal*. Jakarta : Kemen LH
- Muchlisin,C . 2015. *Struktur Komunitas Ikan Karang di perairan Terdampak Air Bahang PLTU Paiton, Probolinggo*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Mukhtasor, Pencemaran Pesisir dan Laut, Cetakan Pertama, Pradnya Paramita, Jakarta, 2007
- Mukhtasor, Dian Saptarini, Pratiwi Fudlailah, Mauludiyah. 2014. On Defining the Effects of Water Temperatures Increase to the Coral Reef: A Case Study of Cooling Water Discharge from A Power Generation. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Mukhtasor, Santi puteri Rahayu, Dian Saptarini, 2015. Pengembangan Baku Mutu Limbah Air Panas dari Industri Energi di Lingkungan Laut Berbasis Data Lapangan dan Metode Risk Assesment. Laporan Penelitian Hibah Kompetensi. LPPM ITS.

- Open University 1989a. Ocean Circulation. Oxford: Pergamon Press.
- PT Jawa Power. *The Power Station Location*.15 Februari 2016.
<http://www.jawapower.co.id/location/>
- Rosyid DM, dan Mukhtasor. 2007. Rekayasa Keandalan. Surabaya : Airlangga University Press
- Suwanda. 2011. Desain Eksperimen untuk Penelitian Ilmiah. Bandung : Alfabeta
- Triadmojo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset
- Wentz, F.J., Peteherych, S. and Thomas, L.A. (1984). A model function for ocean radar cross sections at 14.6 GHz. *Journal of Geophysical Research* 89: doi: 10.1029/JC089iC07p03689. issn: 0148-0227
- Wikimapia. 2016. <http://wikimapia.org/22802302/id/Pembangkit-Listrik-Tenaga-Uap-Paiton>

LAMPIRAN IV
BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Mukti Utami lahir di Madiun, 6 April 1994 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan SD ditempuh di SD Duren 1. Sedangkan SMP ditempuh di SMP Negeri 1 Mejayan dan SMA ditempuh di SMA Negeri 10 Malang Sampoerna Academy. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikannya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis pernah mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa Bola Basket dan Maritime Challenge . Penulis aktif mengikuti berbagai perlombaan dan meraih juara pada pertandingan bola basket, bola volly, futsal dan dragon boat. Penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan dalam berbagai acara. Penulis pernah mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dengan pendanaan penelitian selama tiga kali oleh Dikti

Selama berkuliah, penulis pernah menjadi staff Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan Departemen Hubungan Luar tahun 2013-2014 dan Kepala Divisi Enterprenur Departemen Kewirausahaan Himpunan Teknik Kelautan tahun 2014-2015.

Pada tahun 2015, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT Arun LNG, Aceh selama dua bulan. Pada bulan Januari 2016, penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S1) dengan mengambil bidang keahlian Pencemaran Laut.